

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI ZnO DENGAN METODE
SOLVOTHERMAL SEBAGAI ALTERNATIF SEMIKONDUKTOR
DALAM *DYE-SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC)**

SKRIPSI



DIAN WULANDARI

**PROGRAM STUDI S-1 KIMIA
DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS AIRLANGGA
SURABAYA
2016**

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI ZnO DENGAN METODE
SOLVOTHERMAL SEBAGAI ALTERNATIF SEMIKONDUKTOR
DALAM *DYE-SINTESITIZED SOLAR CELL* (DSSC)**

SKRIPSI

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelara Sarjana Sains Bidang Kimia pada
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Airlangga**

Oleh :

DIAN WULANDARI

NIM. 081211533008

Tanggal Lulus : 05 Agustus 2016

Disetujui oleh :

Pembimbing I



Dr. Hartati, M.Si.

NIP. 19591115 198703 2 002

Pembimbing II



Ahmadi Jaya Permana, S.Si., M.Si.

NIP. 19870727 201504 1 003

LEMBAR PENGESAHAN NASKAH SKRIPSI

Judul : Sintesis dan Karakterisasi ZnO dengan Metode Solvothermal sebagai alternatif Semikonduktor dalam Dye-Sintesis Solar Cell (DSSC)
Penulis : Dian Wulandari
NIM : 081211533008
Pembimbing I : Dr. Hartati, M.Si.
Pembimbing II : Ahmadi Jaya Permana, S.Si., M.Si.
Tanggal Ujian : 05 Agustus 2016

Disetujui Oleh :

Pembimbing I



Dr. Hartati, M.Si.

NIP. 19591115 198703 2 002

Pembimbing II



Ahmadi Jaya Permana, S.Si., M.Si.

NIP. 19870727 201504 1 003

Mengetahui,
Ketua Program Studi S-1 Kimia
Departemen Kimia
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Airlangga


Dr. Purkan, M.Si.

NIP. 19721116 199702 1 001

SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini, saya :

Nama : Dian Wulandari

NIM : 081211533008

Program Studi : Kimia

Fakultas : Sains dan Teknologi

Jenjang : Sarjana (S1)

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan kegiatan plagiat dalam penulisan skripsi saya yang berjudul :

SINTESIS DAN KARAKTERISASI ZnO DENGAN METODE SOLVOTERMAL SEBAGAI ALTERNATIF SEMIKONDUKTOR DALAM DYE-SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC)

Apabila suatu saat nanti terbukti melakukan tindakan plagiat, maka saya akan menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 21 Juli 2016



Dian Wulandari
081211533008

PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI

Skripsi ini tidak dipublikasikan, namun tersedia di perpustakaan dalam lingkungan Universitas Airlangga, diperkenankan untuk digunakan sebagai referensi kepustakaan, tetapi pengutipan harus seizin penyusun dan harus menyebutkan sumbernya sesuai dengan kebiasaan ilmiah

.

Dokumen skripsi ini merupakan hak milik Universitas Airlangga

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah atas segala rahmat, karunia dan hidayah yang telah diberikan oleh Allah SWT, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi dengan judul **“Sintesis dan Karakterisasi ZnO dengan Metode Solvothermal sebagai alternatif Semikonduktor dalam *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC)”**. Naskah skripsi ini disusun untuk memenuhi persyaratan kelulusan dalam menempuh pendidikan S1-Kimia di Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga.

Naskah skripsi ini ditulis tidak lepas dari bimbingan dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis mengucapkan rasa terima kasih kepada :

1. (Alm.) Bapak Drs. Hamami, M.Si. yang selalu memberikan bimbingan, nasehat dan motivasi selama penyusunan naskah skripsi ini.
2. Ibu Dr. Hartati, M.Si. selaku dosen pembimbing I yang senantiasa memberi bimbingan, saran dan nasehat dalam penyelesaian naskah skripsi ini.
3. Bapak Ahmadi Jaya Permana, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing II yang selalu memberikan masukan, saran dan nasehat selama penyusunan naskah skripsi ini.
4. Bapak Yanuardi Raharjo, S.Si., M.Sc. selaku dosen penguji I yang memberikan arahan dan saran demi terselesaikannya skripsi ini
5. Ibu Prof. Dr. Afaf Baktir, MS. selaku dosen penguji II yang memberikan arahan dan saran demi terselesaikannya skripsi ini
6. Ibu Dr. Nanik Siti Aminah, M.Si. selaku dosen wali yang selalu memberikan saran, nasehat, dan motivasi selama menempuh perkuliahan.
7. Bapak Dr. Purkan, M.Si. selaku ketua Departemen Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga atas saran, nasehat, dan motivasinya yang diberikan selama ini.
8. Seluruh staf pengajar Departemen Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga atas ilmu, bimbingan, dan saran yang telah diberikan.

9. Bapak, Ibu, Mbak Lia, Mas Munir, Mas David dan seluruh keluarga yang selalu memberikan doa, semangat, dan dukungan moral kepada penulis selama penyusunan naskah skripsi ini.
10. Teman-teman Tim DSSC yaitu Wenda, Saiful, Arista dan Yeda atas dukungan, saran, motivasi, ilmu dan pengetahuan yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan naskah skripsi ini dengan sebaik-baiknya.
11. Sahabat-sahabat tersayang Yuni, Dita, Saiful, Mawaddah, Dias, Zusnia, Dimas yang selalu memberikan keceriaan, semangat dan dukungan.
12. Teman-teman dari Kimia 2012 yang telah menemani berjuang selama ini, kakak dan adik angkatan yang selalu memberikan dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan naskah skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan naskah skripsi ini masih banyak kekurangan, sehingga penulis mengharapkan adanya kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan naskah skripsi ini.

Surabaya, 20 Juli 2016

Penulis,

Dian Wulandari

Wulandari, D., 2016. Sintesis dan Karakterisasi ZnO dengan Metode Solvothermal sebagai alternatif Semikonduktor dalam *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC). Skripsi di bawah bimbingan Dr. Hartati, M.Si. dan Ahmadi Jaya Permana, S.Si., M.Si., Departemen Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga, Surabaya.

ABSTRAK

Pasokan energi semakin lama semakin berkurang seiring dengan bertambahnya kebutuhan energi, sehingga dibutuhkan sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan dan mudah didapat. *Dye-Sensitizer Solar Cell* (DSSC) merupakan salah satu teknologi terbarukan yang ramah lingkungan dengan cara mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Semikonduktor yang digunakan yaitu ZnO hasil sintesis yang berasal dari $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dan NaOH dengan pH 10 yang dikalsinasi pada suhu 600°C. Produk hasil sintesis dikarakterisasi dengan spektrofotometer FTIR dan XRD. Hasil karakterisasi dengan spektrofotometer FTIR menunjukkan bahwa senyawa $\text{Zn}(\text{OH})_2$ sudah terbentuk dengan adanya vibrasi *stretching* dari Zn-O-H yang teramati pada bilangan gelombang 460,01 cm^{-1} . Hasil karakterisasi XRD dibuktikan dengan perbandingan data puncak difraktogram dengan *X'Pert HighScore Application* pada *JCPDS no. 0036-1451*. Pengukuran arus dan voltase dari DSSC dengan semikonduktor ZnO menunjukkan arus sebesar 14 mA dan voltase yang dihasilkan yaitu 0,22 V. Dari data tersebut didapat efisiensi DSSC dengan semikonduktor ZnO sebesar 0,29 %.

Kata kunci : sintesis ZnO, semikonduktor, DSSC

Wulandari, D., 2016. Synthesis and Characterization of ZnO by Solvothermal Method as an Alternative Semiconductors on Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC). This Study is under guidance of Dr. Hartati, M.Si. and Ahmadi Jaya Permana, S.Si., M.Si., Departemen Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga, Surabaya.

ABSTRACT

Lately, The energy sources decreasing because the increasing energy requirement, so we need renewable energy sources which is ecofriendly and easy to get. Dye Sensitized Solar Cell is a renewable technology which ecofriendly with converting solar energy to electrical energy. ZnO compound has been synthesized as semiconductor from $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{OO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ and NaOH with pH 10 which calsinated at 600 C. Product from synthesis characterized by FTIR spectrophotometer and XRD. Characterisation with FTIR showed that ZnOH_2 is formed from synthesis by streching vibration from Zn – O – H at wavenumber 460,01 cm^{-1} . XRD characterization result proved with comparison of diffractogram peak data with *X'Pert HighScore Application* pada *JCPDS no. 0036-1451*. Current and voltage measurement from DSSC with ZnO semiconductor showing maximum current 14 mA and maximum voltage 0,22 V. Based on that data, the efficiency which calculated before From DSSC based ZnO semiconductor is 0,29 %.

Keywords : ZnO synthesis, semikonduktor, DSSC

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERNYATAAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN NASKAH SKRIPSI	iii
LEMBAR ORISINALITAS	iv
PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
 BAB I PENDAHULUAN.....	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan	5
1.4 Manfaat	6
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	 7
2.1 <i>Dye-Sensitized Solar Cell</i> (DSSC)	7
2.2 Metode sintesis ZnO dengan metode Solvothermal.....	8
2.3 Senyawa ZnO sebagai semikonduktor pada DSSC	10
2.4 Karakterisasi senyawa ZnO.....	12
2.4.1 Karakterisasi <i>Fourier Transformed Infrared</i> (FTIR).....	12
2.4.2 Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	14
 BAB III METODE PENELITIAN	 18
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	18
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	18
3.2.1 Alat-alat penelitian.....	18
3.2.2 Bahan-bahan penelitian.....	19
3.3 Diagram Alir Penelitian	19
3.4 Prosedur Penelitian.....	20
3.4.1 Sintesis padatan ZnO	20
3.4.2 Karakterisasi padatan ZnO.....	20
3.4.2.1 Karakterisasi struktur dan padatan ZnO dengan XRD	20
3.4.2.2 Karakterisasi struktur dan padatan ZnO dengan spektrofotometer FTIR	20
3.4.3 Aplikasi ZnO pada <i>dye-sensitized solar cell</i> (DSSC)	21

3.4.3.1 Pembuatan pasta ZnO	21
3.4.3.2 Pelapisan ZnO pada pelat kaca	21
3.4.3.3 Pembuatan elektroda kerja DSSC (<i>work electrode</i>)	21
3.2.3.4 Pembuatan elektroda pembanding DSSC	21
3.4.3.5 Perangkaian alat DSSC	22
3.4.4 Karakterisasi arus dan voltase	22
3.4.4.1 Pengukuran arus dan voltase DSSC	22
3.4.4.2 Karakterisasi arus dan voltase pada DSSC menggunakan Potensiometer	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	24
4.1 Sintesis ZnO	24
4.2 Karakterisasi ZnO	25
4.2.1 Karakterisasi ZnO dengan XRD	25
4.2.2 Karakterisasi ZnO dengan spektrofotometer FTIR	29
4.3 Aplikasi senyawa ZnO sebagai semikonduktor dalam DSSC	30
4.3.1 Pelapisan ZnO pada pelat kaca	30
4.3.2 Pembuatan elektroda kerja pada DSSC	31
4.3.3 Pengukuran kinerja DSSC	32
4.3.3.1 Perangkaian DSSC	32
4.3.3.2 Pengukuran arus dan voltase DSSC terhadap jumlah hari	32
4.3.3.3 Pengukuran Kurva I-V	33
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	37
5.1 Kesimpulan	37
5.2 Saran	37
DAFTAR PUSTAKA	38
LAMPIRAN	42

DAFTAR TABEL

Nomor	Judul Tabel	Halaman
2.1	Karakteristik senyawa ZnO	11
4.1	Arus dan voltase rata-rata pada pengukuran DSSC	32
4.2	Data hasil pengukuran arus-voltase (I-V)	33
4.3	Efisiensi ZnO dengan TiO ₂ sebagai semikonduktor pada DSSC	35
4.4	Efisiensi ZnO hasil sintesis dengan berbagai metode lainnya pada DSSC	35

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Judul Gambar	Halaman
2.1	Komponen DSSC	7
2.2	Prinsip kerja DSSC	8
2.3	Jalur solvothermal untuk sintesis senyawa logam oksida	10
2.4	Struktur kristal ZnO	12
2.5	Spektrum FTIR ZnO	14
2.6	Difraksi sinar-X hukum Bragg	15
2.7	Pola XRD struktur Wurzite ZnO	16
3.1	Rangkaian pengukuran arus dan voltase tanpa potensiometer	22
3.2	Rangkaian pengukuran arus dan voltase dengan potensiometer	23
4.1	Difraktogram XRD	26
4.2	Hasil analisis dengan aplikasi <i>X'Pert HighScore</i>	29
4.3	Spektrum FTIR <i>xerogel</i> dan padatan hasil kalsinasi	30
4.4	Pelat kaca yang sudah dilapisi dengan semikonduktor ZnO	31
4.5	Hasil pelapisan pada kaca	31
4.6	Rangkaian DSSC	32
4.7	Karakteristik kurva I-V pada semikonduktor ZnO	33
4.8	Karakteristik kurva I-V pada semikonduktor ZnO dengan penambahan <i>dye</i> Co(II)- <i>congo red</i>	34

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Judul Lampiran	Halaman
1	Pembuatan NaOH 0,2 M	42
	Pembuatan $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0,1 M	42
	Perhitungan konsentrasi <i>dye</i>	42
2	Produk Hasil Sintesis :	43
	- Hasil sintesis ZnO pH 10	43
	- Hasil sintesis ZnO pH 11	43
	- Hasil sintesis ZnO pH 12	43
3	Difraktogram XRD :	44
	- Grafik difraktogram XRD <i>xerogel</i> pH 10	44
	- Grafik difraktogram XRD <i>xerogel</i> pH 11	45
	- Grafik difraktogram XRD <i>xerogel</i> pH 12	46
	- Grafik difraktogram XRD ZnO dengan pH 10	47
	- Grafik difraktogram XRD ZnO dengan pH 11	48
	- Grafik difraktogram XRD ZnO dengan pH 12	49
4	Difraktogram XRD menggunakan aplikasi <i>X'Pert HighScore</i> :	50
	- Grafik difraktogram XRD ZnO dengan pH 10	50
	- Grafik difraktogram XRD ZnO dengan pH 11	54
	- Grafik difraktogram XRD ZnO dengan pH 12	58
5	Hasil Spektrum Spektrofotometer FTIR	62
	- Spektrum spektrofotometer FTIR <i>xerogel</i>	62
	- Spektrum spektrofotometer FTIR padatan hasil kalsinasi	63
6	<i>Powder Diffraction File (PDF) Database</i>	64
	- Data PDF $\text{Zn}(\text{OH})_2$ no. 74-0094	64
	- Data PDF ZnO no. 80-0075	65
	- Data standar <i>JCPDS no. 0036-1451</i>	66
7	Penentuan kinerja DSSC	68
	- Pengukuran arus terhadap hari	68
	- Pengukuran voltase terhadap hari	69
	- Pengukuran kurva I-V	69
8	Pengukuran Kurva I-V	71
	- Perhitungan Efisiensi Semikonduktor ZnO	71
	- Perhitungan Efisiensi Semikonduktor ZnO dengan Co(II)- <i>congo red</i>	72

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Permasalahan

Energi listrik merupakan energi yang paling berpengaruh terhadap kehidupan masyarakat Indonesia. Energi yang dimanfaatkan oleh pemerintah sebagian besar berasal dari bahan bakar fosil dan seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk maka jumlah kebutuhan energi yang dibutuhkan oleh masyarakat Indonesia juga semakin bertambah (Martosaputro dan Murti, 2014). Namun pada kenyataannya, pasokan energi ini semakin berkurang seiring bertambahnya kebutuhan energi, sehingga manusia dituntut untuk mencari sumber energi alternatif lain yang ramah lingkungan dan mudah didapatkan (Coyle, 2014). Salah satu contoh energi alternatif yang mudah didapat dan diperbarui adalah sinar matahari. Indonesia merupakan negara tropis dengan dua musim yakni musim kemarau dan musim penghujan. Sehingga, Indonesia memiliki potensi energi surya yang melimpah. Namun melimpahnya energi surya ini belum dimanfaatkan secara optimal oleh masyarakat bahkan pemerintah di Indonesia. Salah satu upaya pemanfaatan energi surya ini adalah dengan teknologi sel surya.

Solar sel atau sel surya merupakan teknologi yang memanfaatkan sinar matahari menjadi energi listrik. Sel surya dibagi menjadi beberapa jenis berdasarkan teknologi pembuatannya, yaitu monokristalin, polikristalin, dan *thin film solar cell*. Monokristalin dan polikristalin solar sel kurang dimanfaatkan karena penggunaan bahan yang terlalu mahal dan adanya banyak ruang kosong

pada panel surya, sehingga efektifitas penyerapan sinar matahari pada sel surya jenis ini berkurang. *Thin film solar cell* paling banyak dimanfaatkan karena ringan dan fleksibel (Pagliaro *et al.*, 2008).

Thin film solar cell merupakan teknologi sel surya generasi kedua sedangkan monokristalin dan polikristalin merupakan teknologi sel surya generasi pertama. Pembuatan lapis tipis bertujuan untuk menekan biaya produksi karena penggunaan bahan silikon yang kurang dari 1%. Sel surya generasi ketiga yaitu sel surya fotoelektrokimia yang terdiri dari sebuah lapisan semikonduktor, yaitu TiO_2 , yang diendapkan dalam sebuah pewarna (*dye*). Sel surya fotoelektrokimia ini pertama kali dikenalkan oleh Profesor Gratzel pada tahun 1991 yang sekarang dikenal sebagai *Gratzel Cell* atau *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC) (Susanti dkk, 2014).

Dye-sensitized solar cell (DSSC) merupakan salah satu teknologi terbaru yang banyak dikembangkan oleh para peneliti dengan berbagai keunggulan yaitu proses produksinya ramah lingkungan dan mampu memenuhi kebutuhan energi di masa depan (Kashif dkk, 2012). Teknologi DSSC memanfaatkan energi matahari dan dapat menghasilkan energi listrik (Krašovec dkk, 2013). Komponen-komponen DSSC terdiri dari elektroda kerja, pewarna (*dye*), elektroda pembanding, semikonduktor, dan elektrolit yang terletak diantara kedua elektroda tersebut (Yang dkk, 2014). Penggunaan material semikonduktor pada DSSC harus memiliki *band gap* yang lebar, mobilitas elektronnya tinggi, dan lapis tipis dengan luas permukaan yang besar sehingga proses penyerapan energi pada *dye* akan lebih efisien dan lebih ringan. Sifat-sifat semikonduktor

yang seperti ini diperoleh dari senyawa kimia, terutama pada logam oksida (Willander, 2014). Salah satu semikonduktor yang memenuhi kriteria tersebut adalah *titanium dioxide* (TiO_2).

Senyawa *titanium dioxide* (TiO_2) paling banyak diaplikasikan untuk semikonduktor pada DSSC karena TiO_2 memiliki *band gap* besar, tidak berbahaya, dan murah (Grätzel, 2003). Namun, pada pengaplikasiannya sebagai semikonduktor pada DSSC, TiO_2 memiliki kelemahan yakni karakteristik TiO_2 sebagai *indirect band gap semiconductor* yaitu posisi pita valensi letaknya sedikit jauh dari pita konduksi sehingga eksitasi elektron pada saat absorpsi cahaya kurang efisien (Yuwono dan Dharma, 2015). Oleh karena itu, diperlukan alternatif pengganti TiO_2 sebagai semikonduktor pada DSSC, seperti senyawa ZnO .

Penggunaan *zinc oxide* (ZnO) sebagai semikonduktor merupakan alternatif pengganti TiO_2 , karena senyawa ZnO telah menunjukkan sifat multifungsi dengan kekuatan mengikat energi yang besar (60 MeV), resistifitasnya rendah, tidak beracun, transparansi yang tinggi dengan kisaran *visible*, dan dengan karakteristik penangkap cahaya yang besar (Caglar dkk, 2009). Selain itu, ZnO juga menunjukkan *band gap* yang lebar yakni 3,3 eV dengan transparansi optik yang tinggi pada suhu kamar, kemampuan untuk mengikat elektron bebas 60 MeV, resistivitas yang tinggi ($10^{-4} - 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$), dan mobilitas elektronnya sebesar $200 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ (Pearton dkk, 2004); (Wang dkk, 2005); (Bacaksiz dkk, 2008). Kelebihan lain dari ZnO adalah memiliki kestabilan kimia yang sangat tinggi, koefisien kopling elektrokimianya juga tinggi, memiliki kemampuan absorpsi radiasi sinar UV yang luas, dan juga sangat peka terhadap cahaya (Segets, 2009).

Semikonduktor ZnO diketahui stabil pada suhu ruang dan mampu bertahan dalam suhu yang sangat tinggi (Al-Kahlout, 2012). Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan sintesis ZnO sebagai semikonduktor.

Metode sintesis senyawa ZnO yang sering digunakan pada beberapa jurnal penelitian yaitu metode sol-gel. Namun, pada penelitian kali ini dipakai metode lain untuk mendapatkan ZnO dengan metode solvothermal, karena pada metode sol-gel terjadi penyusutan massa yang cukup besar selama proses pengeringan dan adanya sisa hidroksil dan karbon dalam senyawa yang disintesis, sehingga membuat senyawanya tidak murni. Metode solvothermal merupakan bagian dari metode hidrotermal, namun perbedaannya pada metode solvothermal digunakan pelarut selain air (pelarut non-polar) sedangkan pada metode hidrotermal digunakan pelarut air. Selain itu, metode solvothermal juga sudah banyak digunakan untuk sintesis senyawa logam oksida, seperti pada sintesis titanium dioksida (TiO_2), *graphene*, karbon dan beberapa unsur lainnya. Kelebihan dari metode ini adalah dapat dengan mudah mengganti parameter penelitian yang digunakan seperti suhu reaksi, waktu reaksi, jenis pelarut yang akan digunakan, jenis surfaktan, dan prekursor yang digunakan untuk penelitian (Lee dkk, 2005). Dengan demikian, metode solvothermal dipilih sebagai metode sintesis yang digunakan pada penelitian ini.

Sintesis senyawa ZnO dilakukan melalui metode solvothermal dengan bahan utama yang digunakan yaitu *zinc acetate* ($\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) yang dilarutkan dalam etanol panas. Sintesis ZnO dengan metode solvothermal dan dengan variasi perbandingan pH untuk mencari pH optimum sintesis. Selanjutnya

ZnO hasil sintesis ini dikarakterisasi dengan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (spektroskopi FTIR) dan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui struktur atau bentuk ZnO hasil sintesis dan uji daya hantarnya sebagai semikonduktor dalam aplikasi DSSC.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang permasalahan diatas, terdapat tiga rumusan masalah dalam penelitian ini.

1. Bagaimana pH optimum pada reaksi sintesis senyawa ZnO yang akan dipergunakan sebagai semikonduktor pada *dye-sensitized solar cell*?
2. Bagaimana karakteristik senyawa ZnO yang akan dipergunakan untuk semikonduktor pada *dye-sensitized solar cell*?
3. Bagaimana efisiensi *dye-sensitized solar cell* dengan penggunaan senyawa ZnO sebagai semikonduktor?

1.3 Tujuan penelitian

Berdasarkan uraian latar belakang permasalahan diatas, penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut.

1. Melakukan sintesis senyawa ZnO dengan variasi pH campuran reaksi.
2. Mengetahui karakteristik dari senyawa ZnO hasil sintesis.
3. Mengetahui efisiensi senyawa ZnO sebagai semikonduktor pada *dye-sensitized solar cell*.

1.4 Manfaat penelitian

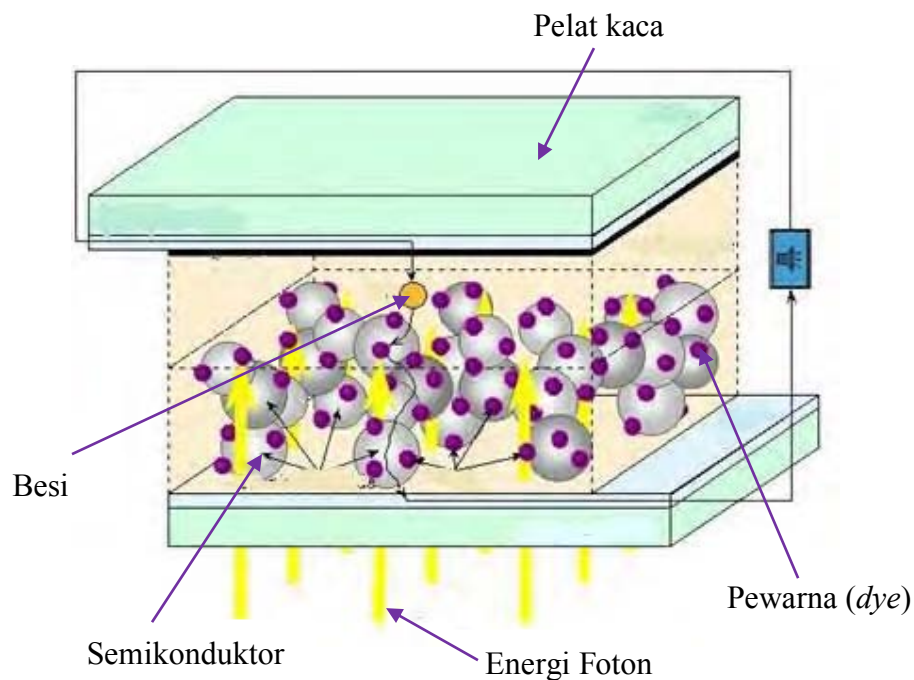
Manfaat penelitian ini adalah sebagai informasi ilmiah terkait sintesis ZnO dan pemanfaatannya sebagai semikonduktor dalam *dye-sensitized solar cell* (DSSC).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

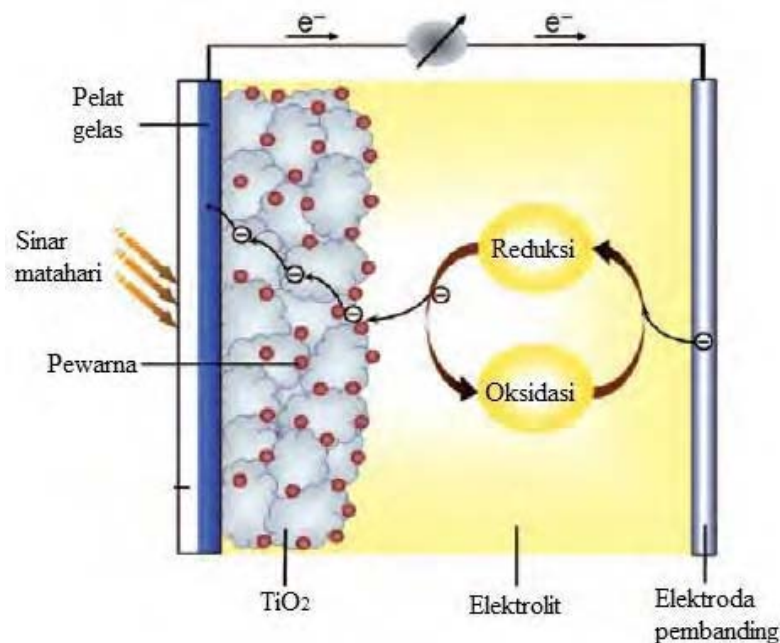
2.1 *Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)*

Dye-sensitized solar cell (DSSC) atau yang lebih dikenal dengan sel surya merupakan suatu komponen yang dapat mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Teknologi DSSC dimanfaatkan sebagai energi alternatif berbasis sel surya yang sudah banyak dikembangkan dengan efektifitas sekitar 2.80 %. Komponen DSSC biasanya terdiri dari elektroda kerja, pewarna (*dye*), elektroda pembanding dan semikonduktor dan pelat kaca yang disusun sedemikian rupa sehingga membentuk sebuah rangkaian DSSC. Adapun susunan komponen DSSC dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Komponen DSSC (Karmakar dan Ruparelia, 2011).

Pada komponen DSSC, pelat kaca berfungsi sebagai badan sel surya, yaitu tempat melekatnya lapisan semikonduktor dan lapisan *dye*. Lapisan semikonduktor berfungsi sebagai tempat mengalirnya muatan. Pada pelat kaca, unsur karbon di dalamnya memiliki kereaktifan yang menyerupai elektroda platina dan luas permukaannya tinggi (Kumara dan Prajitno, 2012). Semikonduktor yang digunakan yaitu senyawa logam oksida. Pewarna (*dye*) berfungsi sebagai penangkap foton cahaya yang masuk dalam panel dan menggunakan energinya untuk membangkitkan elektron. *Dye* disini memiliki kemampuan seperti klorofil pada daun saat fotosintesis (Mishra dkk, 2009). Adapun prinsip kerja dari DSSC dapat dilihat pada Gambar 2.2.



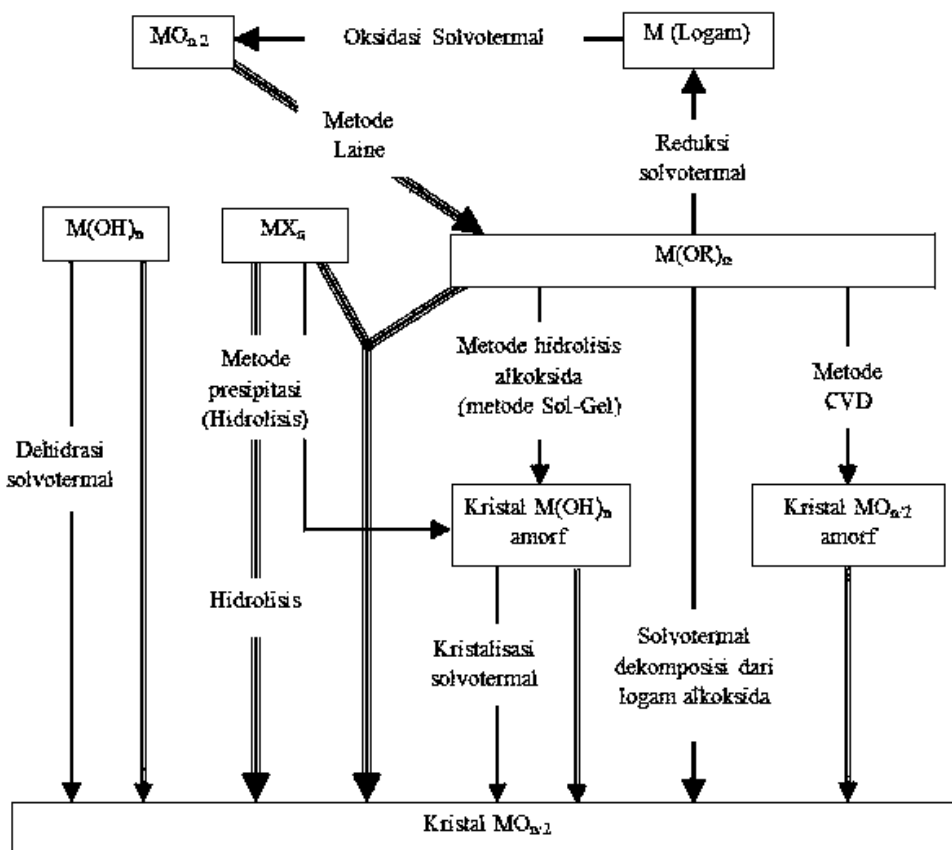
Gambar 2.2. Prinsip kerja DSSC (Mishra dkk, 2009).

2.2 Metode sintesis ZnO dengan metode Solvothermal

Logam oksida biasanya didapatkan dari proses kalsinasi, yaitu melalui proses pemanasan dengan suhu diatas 400°C karena proses ini sangat cocok untuk

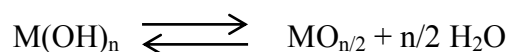
mendapatkan logam oksida seperti, hidroksida, nitrat, karbonat, karboksilat, dan lain-lain. Ketika sejumlah besar energi panas diberikan untuk proses dekomposisi suatu prekursor, maka prekursor akan mengalami perubahan bentuk biasanya menjadi padatan dan senyawa yang diinginkan akan terbentuk. Sintesis senyawa logam oksida atau senyawa anorganik lainnya dapat dilakukan dengan berbagai macam metode yakni metode sol gel, solvothermal, hidrotermal, dan lain-lain (Lee dkk, 2005).

Metode sintesis senyawa logam oksida ZnO pada penelitian ini yaitu metode solvothermal. Metode solvothermal merupakan metode hasil modifikasi dari metode hidrotermal. Metode solvothermal dipilih karena metode ini menggunakan pelarut non-polar sehingga suhu yang dibutuhkan untuk sintesis jauh lebih rendah dibandingkan dengan metode hidrotermal yang menggunakan air sebagai pelarutnya. Selain itu, senyawa logam oksida dapat disintesis dengan berbagai macam metode solvothermal, seperti solvothermal dehidrasi dari logam hidroksi, solvothermal dekomposisi dari logam alkoksida, sintesis solvothermal dari campuran oksida, kristalisasi solvothermal dari oksida amorf, dan lain-lain. Metode solvothermal dari suatu logam oksida dapat dilihat pada Gambar 2.4 (Lee dkk, 2005).



Gambar 2.3. Jalur solvotermal untuk sintesis senyawa logam oksida.

Sintesis menggunakan metode hidrotermal memerlukan suhu yang cukup tinggi dikarenakan adanya kesetimbangan yang terbatas sehingga reaksinya menjadi:



Metode solvotermal dapat mengatasi keterbatasan ini dan dehidrasi yang terjadi membutuhkan suhu yang jauh lebih rendah dari suhu yang dibutuhkan oleh metode hidrotermal.

2.3 Senyawa ZnO sebagai semikonduktor pada DSSC

Semikonduktor dalam sebuah rangkaian DSSC memiliki peranan yang sangat penting yakni sebagai tempat mengalirnya elektron yang didapatkan dari

lapisan *dye*. Proses mengalirnya elektron dari lapisan *dye* ke semikonduktor inilah yang dapat menciptakan energi listrik yang dapat disimpan dalam baterai isi ulang, kapasitor atau perangkat listrik lainnya. Semikonduktor pada DSSC haruslah memiliki *band gap* yang lebar, karena semakin lebar luas penampangnya akan semakin banyak muatan elektron yang dapat ditampung dan dialirkan, sehingga energi listrik yang didapatkan akan semakin banyak.

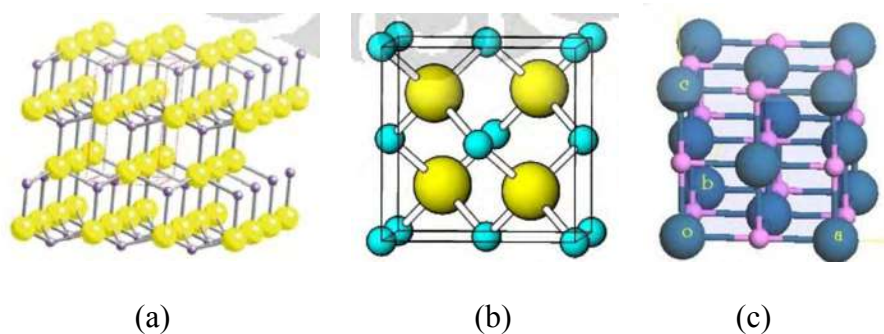
Seng oksida (ZnO) adalah semikonduktor dengan *band gap* yang lebar yakni 3.3 eV pada suhu kamar. Kelebihan lainnya yaitu ZnO tidak mudah rusak dan mudah jenuh sehingga ZnO merupakan material yang cocok digunakan untuk penelitian dengan menggunakan suhu tinggi, maupun tegangan listrik yang tinggi (Williander, 2014). Selain itu, ZnO memiliki struktur kristal wurtzite yang lebih rapat dan rata sehingga ZnO memiliki luas penampang yang lebih lebar dan rapat. Untuk itu ZnO memiliki banyak manfaat lain selain dijadikan sebagai semikonduktor pada DSSC. Tabel 2.1 menunjukkan karakteristik oksida ZnO.

Tabel 2.1. Karakteristik senyawa ZnO (Witjaksono, 2011).

Karakteristik	
Rumus molekul	ZnO
Massa molar (berat molekul)	81.408 g/mol
Penampilan	Padatan putih
Bau	Tidak berbau
Kepadatan	5.606 g/cm ³
Titik lebur (melting point)	1975 °C
Titik didih (boiling point)	2360 °C
Kelarutan dalam air	0.16 mg/100 ml (30 °C)
Band gap	3.3 eV
Indeks bias (nd)	2.0041

Seng oksida mengkristal dalam dua bentuk jenis kristal yaitu heksagonal dan kubus. Struktur heksagonal ZnO dikenal sebagai struktur *wurtzite* heksagonal,

sedangkan struktur kubik terbagi menjadi dua yaitu struktur kubus *zinc blende* dan kubus garam dapur (kubus *rocksalt*). Struktur yang paling stabil pada keadaan ruang yaitu struktur wurtzite. Struktur zincblende hanya stabil jika ditumbuhkan pada medium yang memiliki struktur kubik, sedangkan struktur rocksalt kubik sangat jarang ditemukan kecuali pada tekanan sekitar 10 Gpa.



Gambar 2.4. Struktur kristal ZnO : (a) struktur *wurtzite*, (b) struktur *zinc blende*, dan (c) struktur kubus garam dapur (Rahman, 2011).

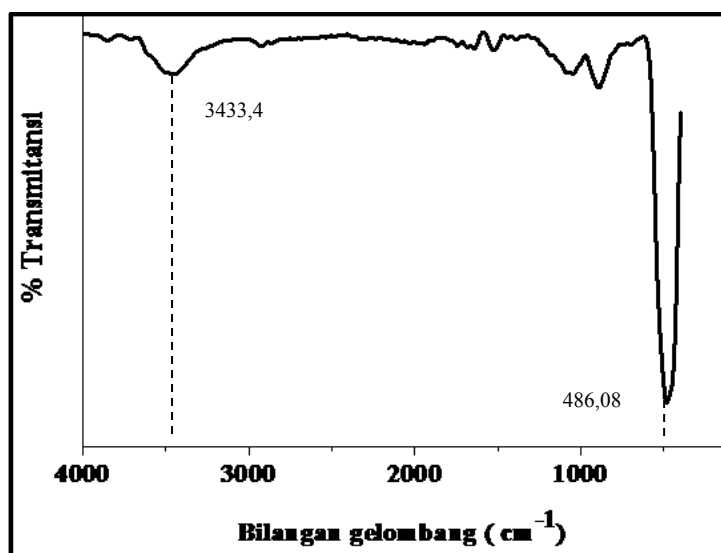
2.4 Karakterisasi senyawa ZnO

2.4.1 Karakterisasi *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)

Karakterisasi dengan *fourier transform infrared spectroscopy* (FTIR) digunakan untuk membuktikan adanya ZnO yang terbentuk pada saat sintesis. Instrumen spektrofotometer FTIR terdiri dari interferometer, sumber radiasi, detektor dan elemen optik lainnya (*beamsplitters*, cermin, dll). (Christy dkk, 2001). Atom-atom dalam suatu molekul selalu bervibrasi. Bila atom-atom ini dikenai radiasi inframerah, maka akan terjadi serapan pada atom-atom molekul tersebut sehingga terbentuk energi transisi antara tingkat energi vibrasi dasar dengan tingkat energi vibrasi pada keadaan tereksitasi. Namun, tidak semua ikatan dalam suatu molekul dapat menyerap energi inframerah meskipun memiliki frekuensi radiasi yang sesuai dengan gerakan ikatan. Ikatan antar atom dalam

suatu molekul yang memiliki momen dipol dapat menyerap radiasi dari radiasi inframerah ini (Sastrohamidjojo, 2001).

Prinsip kerja pada instrumen FTIR adalah sinar yang datang dari sumber radiasi akan diteruskan dan kemudian akan dipecah oleh *beamsplitters* menjadi dua bagian sinar yang saling tegak lurus. Sinar ini kemudian dipantulkan oleh dua cermin yakni cermin diam dan cermin bergerak. Sinar hasil pantulan ini akan dipantulkan kembali menuju *beamsplitters* supaya saling berinteraksi. Dari *beamsplitters*, sebagian sinar ini akan diteruskan ke sampel dan sebagian lagi menuju cuplikan. Gerakan cermin yang maju mundur menyebabkan sinar yang sampai pada detektor akan berfluktuasi. Sinar akan saling menguatkan ketika kedua cermin memiliki jarak yang sama terhadap detektor, dan akan saling melemahkan ketika kedua cermin ini memiliki jarak yang berbeda. Fluktuasi sinar yang sampai pada detektor ini akan menghasilkan sinyal pada detektor yang disebut dengan interferogram. Interferogram ini akan diubah menjadi spektra IR dengan bantuan komputer berdasarkan operasi matematika (Tahid, 1994). Dengan cara demikian dapat diperoleh spektrum IR yang menggambarkan besar % transmittan (%T) dan bilangan gelombang (cm^{-1}) (Stuart, 2004).

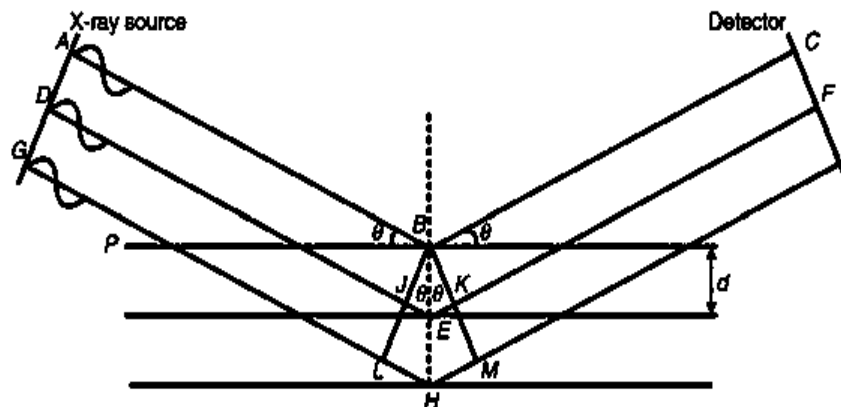


Gambar 2.5. Spektrum FTIR ZnO (Yulianti dkk, 2006).

Gambar 2.5 menunjukkan spektra FTIR ZnO sintesis. Pita pada panjang gelombang $486,08 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya vibrasi *stretching* dari Zn-O ($\nu_{\text{Zn-O}}$). Pita kuat lainnya teramati antara $1350\text{-}1600 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan spesies asetat yang terabsorb kedalam permukaan ZnO. Puncak lebar terpusat pada $3433,4 \text{ cm}^{-1}$ berhubungan dengan gugus -OH dari H_2O , menunjukkan keberadaan air yang terabsorb di atas permukaan ZnO (Palomino, 2006).

2.4.2 Karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD)

X-ray diffraction (XRD) merupakan instrumen yang digunakan untuk mengidentifikasi struktur kristal suatu padatan yaitu dengan membandingkan nilai jarak d (bidang kristal) dan intensitas puncak difraksi dengan data standar (2θ). Sinar-x merupakan radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang (λ) berkisar antara 100 pikometer - 10 nanometer yang dihasilkan dari penembakan logam dengan elektron berenergi.



Gambar 2.6. Difraksi sinar-X hukum Bragg.

Analisis menggunakan XRD digunakan untuk menentukan kerapatan suatu material. Hal ini dapat diketahui dari persamaan Bragg yaitu nilai dua kali sudut difraksi (2θ) berbanding lurus dengan nilai jarak antar kisinya (d) dalam kristal tersebut. Sesuai dengan persamaan Bragg :

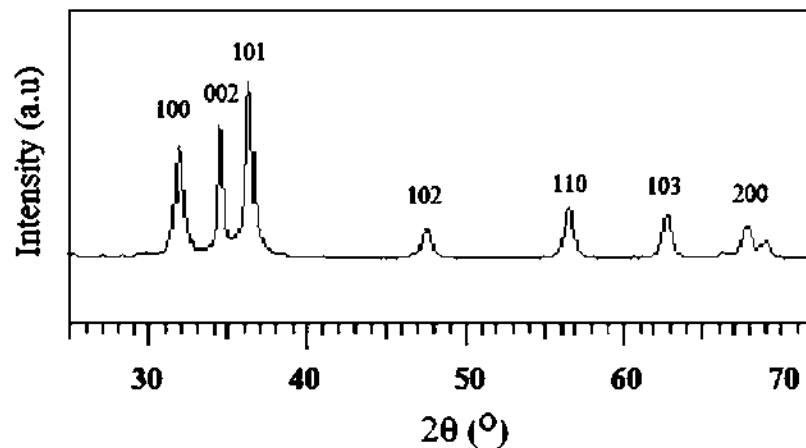
$$n \cdot \lambda = 2d_{hkl} \cdot \sin \theta \quad (\text{Cullity, 2001})$$

Dengan : d = jarak antar kisi

θ = sudut pengukuran (sudut difraksi)

λ = panjang gelombang sinar-X

Difraksi sinar-X ini hanya akan terjadi pada sudut kristal tertentu dengan pola difraksi yang tertentu juga. Pengukuran secara kuantitatif relatif dapat dilakukan dengan membandingkan jumlah tinggi puncak pada sudut-sudut tertentu dengan jumlah tinggi puncak pada sampel standar (Cullity, 2001).



Gambar 2.7. Pola XRD struktur *wurtzite* ZnO (Al-Kahlout, 2015).

Gambar 2.7 menunjukkan pola difraksi struktur *wurtzite*. Ukuran padatan ZnO terlihat pada pita (100), (002), dan (101) yang ukuran partikelnya kira-kira 20 nm yang teramati pada sudut 2θ antara 30° - 70° . Data ini tidak menunjukkan perbedaan struktur *wurtzite* ZnO yang signifikan antara ZnO standar dan ZnO sintesis (Al-Kahlout, 2015).

Analisis kristalinitas suatu senyawa ini dapat digunakan metode Debye-Scherrer, yaitu hubungan antara ukuran kristalit dengan ukuran puncak difraksi sinar-X dapat diproksimasi dengan persamaan Scherrer :

$$D = \frac{\lambda}{B \cos \theta_B}$$

Dalam hal ini D adalah ukuran (diameter) kristalit, λ adalah panjang gelombang sinar-X yang digunakan, θ_B adalah sudut Bragg, dan B adalah pelebaran berdasarkan *Full-Width at Half Maximum* (FWHM) puncak difraksi dalam satuan radian.

Penentuan ukuran kristalin suatu senyawa yaitu dilakukan dengan menentukan FWHM yang nantinya digunakan dalam persamaan Warren, yaitu

$$B = \sqrt{FWHM_{sp}^2 - FWHM_{st}^2}$$

dengan $FWHM_{sp}$ adalah lebar puncak padasetengah maksimum dan $FWHM_{st}$ adalah lebar puncak difraksi kristal yang sangat besar yang lokasi puncaknya berada disekitar lokasi puncak sampel yang akan dihitung. Umumnya, $FWHM_{st}$ sangat kecil sehingga persamaan Scherrer dapat dianggap sebagai aproksimasi yang cukup baik. Metode ini dapat dilakukan dengan menggunakan sistem aplikasi komputer yaitu *Xpert High Score Application* (Iskandar dkk, 2001); (Langford dkk, 1978).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari hingga Juli 2016 di Laboratorium Kimia Analitik dan Anorganik, Laboratorium Penelitian Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga Surabaya. Karakterisasi FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) dilakukan di Laboratorium Kimia Organik Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Karakterisasi XRD (*X-Rays Diffraction*) dilakukan di Laboratorium Metalurgi Fakultas Teknik Material dan Metalurgi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

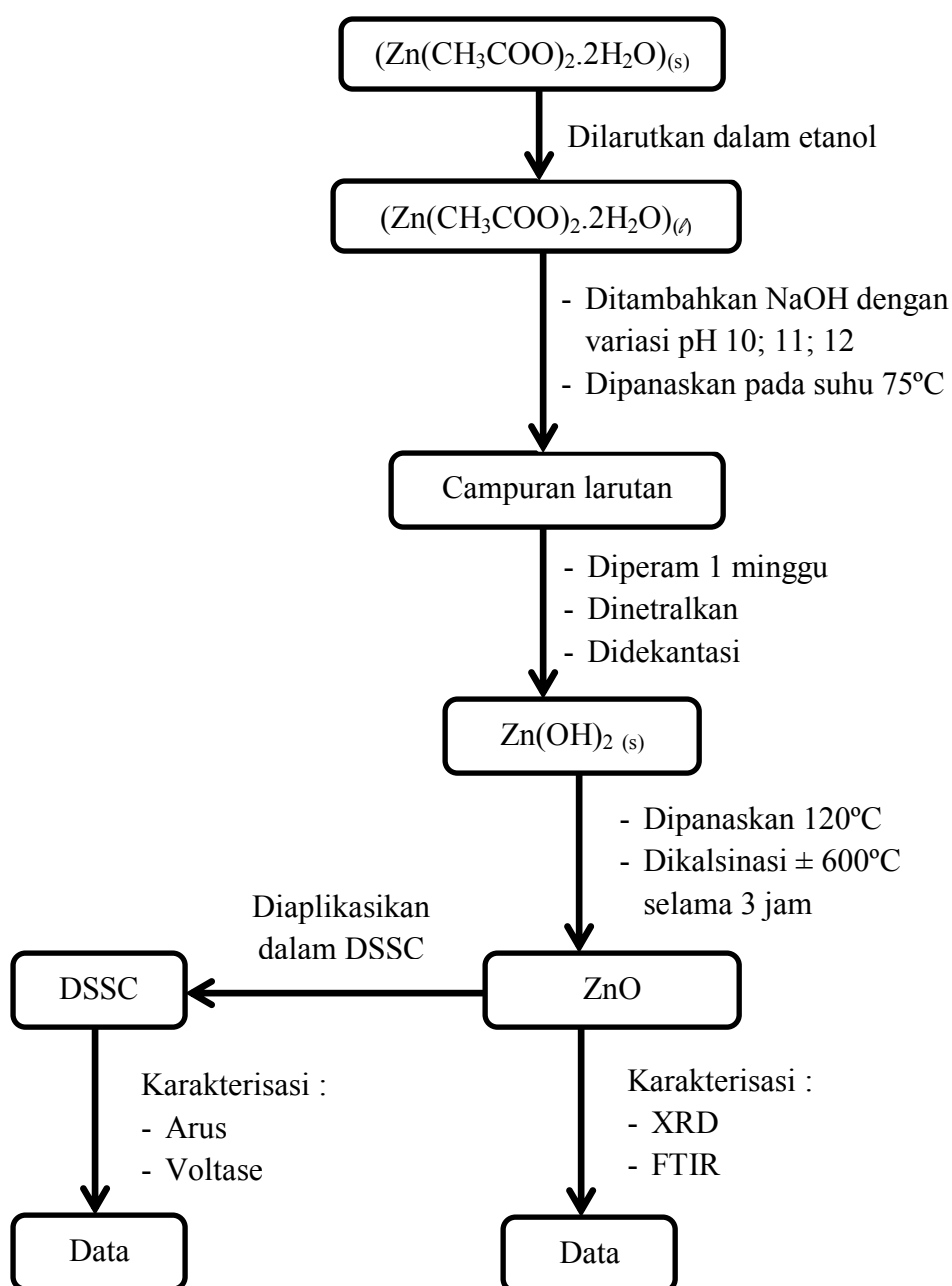
3.2.1 Alat – alat penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kondensor, peralatan gelas, termometer, timbangan analisis *Metler AE 200*, oven, pelat kaca dengan ukuran $2,5 \times 2,5$ cm dan tebal 1 mm, *furnace*, *hot plate*, multimeter *Dekko*, potensiometer 100 K Ω , *light meter Krisbow KW06-288* dan peralatan gelas yang biasa digunakan dalam laboratorium. Instrumen karakterisasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah spektrofotometer Jasco FTIR dan *X-rays diffraction* (XRD) *X'Pert PRO*.

3.2.2 Bahan – bahan penelitian

Bahan – bahan kimia yang digunakan dalam penelitian ini adalah seng asetat ($\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), natrium hidroksida (NaOH), etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) dengan derajat kemurnian *pure analysis* (p.a), larutan elektrolit I_2 dalam KI, pensil grafit dan lilin.

3.3 Diagram Alir Penelitian



3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Sintesis ZnO

Sintesis ZnO dilakukan dengan metode solvothermal. Sintesis ZnO dimulai dengan proses pelarutan 1,0818 gram $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dalam etanol panas. Larutan $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dalam etanol ini kemudian ditambahkan dengan NaOH 0,2 M dalam etanol dengan variasi pH sebesar 10;11;12 selama 8 jam pengadukan hingga terbentuk *xerogel*. Campuran larutan yang dihasilkan kemudian diperam selama ± 24 jam, kemudian didekantasi dan dipanaskan dengan penangas air jika masih ada sisa *xerogel* dalam gelas. Padatan yang terbentuk kemudian dikeringkan dalam oven dengan suhu $\pm 150^\circ\text{C}$. Setelah proses pengeringan, *xerogel* kemudian dikalsinasi menggunakan suhu $\pm 600^\circ\text{C}$ selama 3 jam (Bedia, 2015).

3.4.2 Karakterisasi padatan ZnO

3.4.2.1 Karakterisasi struktur dan padatan ZnO dengan XRD

Analisa struktur dan padatan kristal ZnO dengan menimbang padatan ZnO 100 mg – 1 gram kemudian dikarakterisasi dengan XRD. Struktur kristal didapat dengan membandingkan nilai $2\theta^\circ$ dengan difraktogram ZnO dengan data standar *JCPDS No. 0036-1451*.

3.4.2.2 Karakterisasi struktur dan padatan ZnO dengan spektrofotometer FTIR

Hasil sintesis ZnO yang didapat kemudian dianalisis menggunakan FTIR. Padatan ZnO ditimbang ± 1 mg dicampurkan dengan KBr dan dibuat pelet. Diukur dengan serapan inframerah pada bilangan gelombang $4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$.

3.4.3 Aplikasi ZnO pada *dye-sensitized solar cell* (DSSC)

3.4.3.1 Pembuatan pasta ZnO

Padatan ZnO ditambahkan dengan asam asetat tetes demi tetes dan diaduk hingga terbentuk pasta ZnO. Pasta ini kemudian digunakan untuk melapisi pelat kaca pada DSSC.

3.4.3.2 Pelapisan ZnO pada pelat kaca

Pelat kaca dengan ukuran $2,5 \times 2,5$ cm yang sudah direndam dengan alkohol absolut kemudian dilapisi dengan pasta ZnO. Proses pelapisan dilakukan dengan metode *doctor blade* yaitu dengan cara meggelindingkan pasta ZnO dengan bantuan batang pengaduk pada permukaan kaca. Selanjutnya pelat kaca dikeringkan dalam oven dengan suhu 80°C selama 10 menit. Pelapisan dilakukan sebanyak 3 kali supaya dihasilkan lapisan yang baik.

3.4.3.3 Pembuatan elektroda kerja DSSC (*work electrode*)

Pelat kaca dengan ukuran $2,5 \times 2,5$ cm berlapis ZnO kemudian direndam dalam larutan senyawa kompleks Co(II)-*congo red* 10^{-2} M pada sebuah kotak persegi selama 24 jam, hingga diperoleh penyerapan optimal. Untuk pemakaian dengan jangka waktu lama, setelah proses pelapisan, pelat kaca disimpan dalam botol gelap tertutup dan sebisa mungkin dihindarkan dari goresan yang dapat merusak lapisan ZnO maupun *dye* dari senyawa kompleks Co(II)-*congo red* (Listari, 2010).

3.4.3.4 Pembuatan elektroda pembanding DSSC

Permukaan pelat kaca dilapisi dengan karbon yang berasal dari asap lilin secara merata (Listari, 2010).

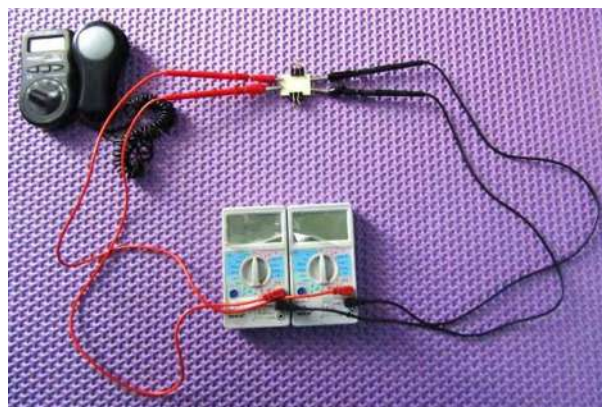
3.4.3.5 Perangkaian alat DSSC

Elektroda kerja yang telah dibuat diletakkan di atas meja dengan posisi lapisan yang terlapis oleh senyawa kompleks Co-congored dan semikonduktor ZnO dibagian atas. Elektroda kerja ini kemudian ditempel dengan elektroda pembanding secara berhadapan. Diantara kedua elektroda tersebut ditekan satu sama lain, lalu dijepit pada bagian tepinya dengan menggunakan klip penjepit. Pada celah yang terbentuk antara elektroda kerja dan elektroda pembanding ditambahkan larutan I_2 dalam KI yang berfungsi sebagai elektrolit (Listari, 2010).

3.4.4 Karakterisasi arus dan voltase

3.4.4.1 Pengukuran arus dan voltase DSSC

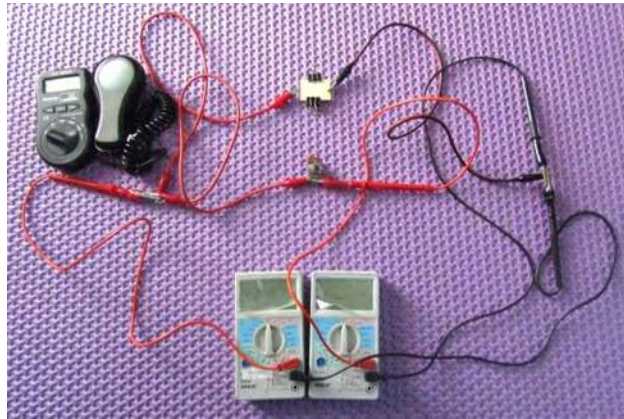
Sel surya dihubungkan dengan kabel multimeter di kedua sisi pelat kaca dengan elektroda pembanding pada kutub positif dan elektroda kerja pada kutub negatif. Sel surya yang telah dirangkai dengan kabel multimeter kemudian diukur arus dan voltase maksimumnya selama ± 14 hari dan disinari dengan sinar matahari (Zamrani dan Prajitno, 2013). Pengukuran arus dan voltase DSSC ditampilkan dalam Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Rangkaian pengukuran arus dan voltase tanpa potensiometer.

3.4.4.2 Karakterisasi arus dan voltase pada DSSC menggunakan potensiometer

pengukuran arus dan voltase I-V dapat dilakukan pada rangkaian seri dengan cara menghubungkannya dengan potensiometer yang diminimalkan dan dimaksimalkan seperti pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Rangkaian pengukuran arus dan voltase dengan potensiometer.

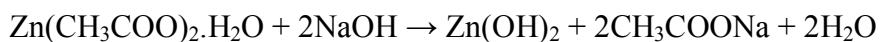
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, sintesis ZnO terjadi dengan reaksi antara $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dengan NaOH. Senyawa hasil sintesis telah dikarakterisasi dengan spektrofotometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dan *X-ray Diffraction* (XRD). Selanjutnya senyawa ZnO diaplikasikan sebagai alternatif semikonduktor dalam DSSC.

4.1 Sintesis ZnO

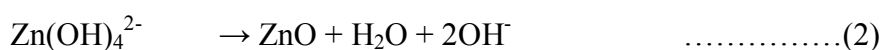
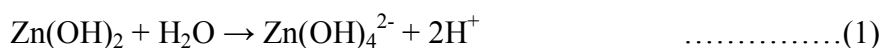
Proses awal sintesis ZnO yaitu dengan melarutkan $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dalam alkohol absolut. Kemudian dilakukan sintesis dengan cara refluks selama ± 8 jam dengan pengadukan. Refluks disini berfungsi supaya siklus uap dari $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dalam alkohol absolut menetes lagi ke bawah. Proses pengadukan dilakukan selama ± 8 jam supaya *xerogel* yang terbentuk rendemennya banyak. Sintesis dilakukan pada suhu 75°C dengan penangas air supaya panasnya merata pada seluruh bagian senyawa sintesis. Setelah sintesis berlangsung ± 30 menit, NaOH ditambahkan dengan variasi pH 10;11;12. Fungsi penambahan NaOH adalah sebagai sumber $-\text{OH}$ dan pada metode solvothermal pH yang digunakan harus basa. Berikut adalah reaksi yang terjadi antara $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dengan NaOH (Conde dkk, 2011) :



Setelah proses sintesis selesai dilakukan proses pemeraman ± 24 jam atau sampai mengendap, yang selanjutnya endapan dipisah dari filtratnya dengan cara

dekantasi. Kemudian endapan dipanaskan sampai kering dengan penangas air. *Xerogel* yang sudah terbentuk ini selanjutnya dikeringkan pada suhu $\pm 150^{\circ}\text{C}$ selama ± 1 jam dalam oven supaya padatan yang terbentuk kering dan menghilangkan sisa alkohol yang masih ada dalam padatan. Warna *Xerogel* hasil sintesis adalah putih. Karakterisasi padatan *xerogel* untuk mengetahui karakteristik hasil sintesis *xerogel*.

Proses selanjutnya yaitu padatan *xerogel* dikalsinasi dengan suhu 600°C selama ± 3 jam dalam *furnace* (Bedia, 2015). Kalsinasi bertujuan untuk menghilangkan gugus hidroksi ($-\text{OH}$) supaya terbentuk ZnO yang nantinya digunakan sebagai semikonduktor pada DSSC. Berikut adalah reaksi pada proses kalsinasi (Conde dkk, 2011) :

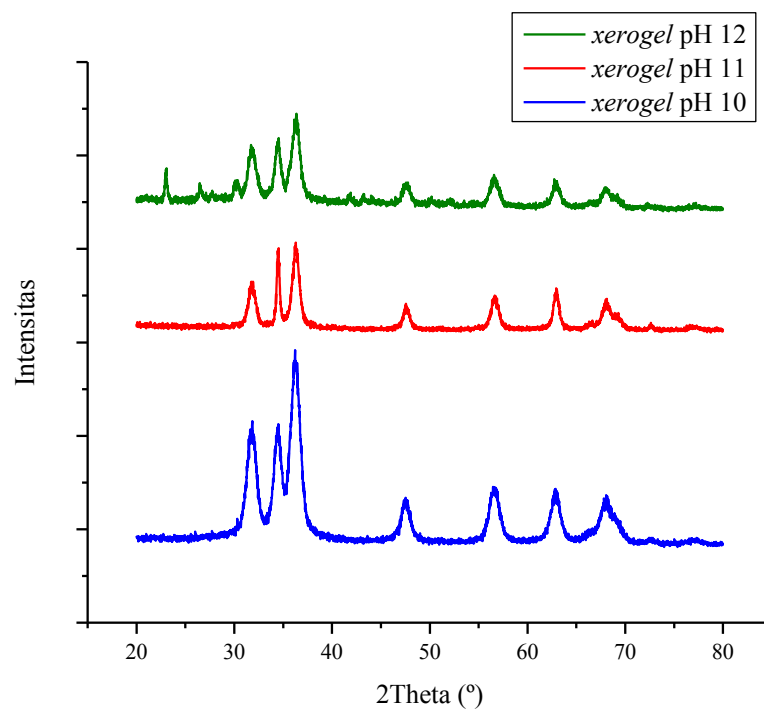


4.2 Karakterisasi ZnO

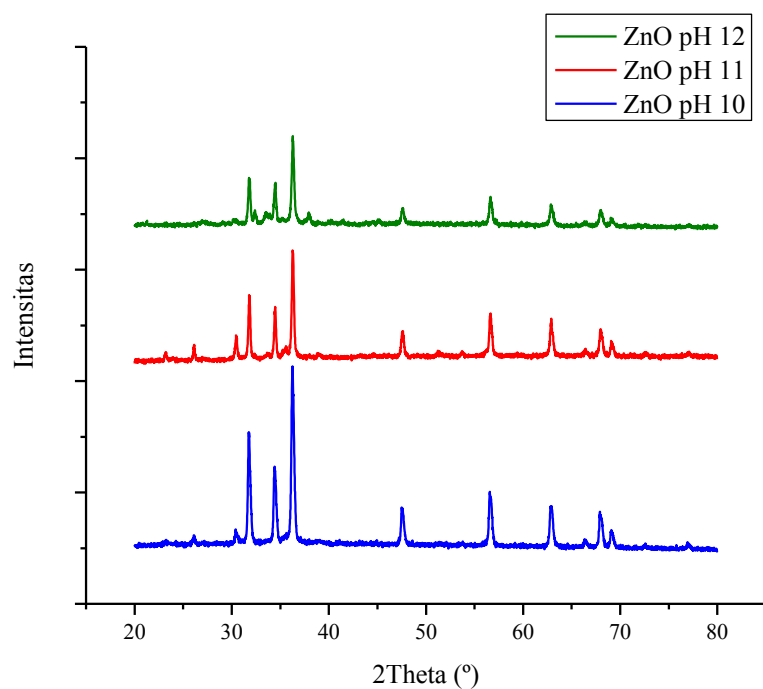
Karakterisasi dilakukan yakni pada *xerogel* dan padatan hasil kalsinasi. Keduanya dikarakterisasi dengan XRD dan spektrofotometer FTIR yang bertujuan untuk mengetahui sifat dan karakteristik padatannya.

4.2.1 Karakterisasi ZnO menggunakan XRD

Analisis *xerogel* dan padatan hasil kalsinasi menggunakan XRD bertujuan untuk mengidentifikasi struktur kristal dan tingkat kristalinitas masing-masing produk. Perbandingan difraktogram dari kedua produk dengan variasi pH 10; 11; 12 dengan spektrum ZnO standar *JCPDS no. 0036-1451* ditunjukkan dalam Gambar 4.4.



(a)



(b)

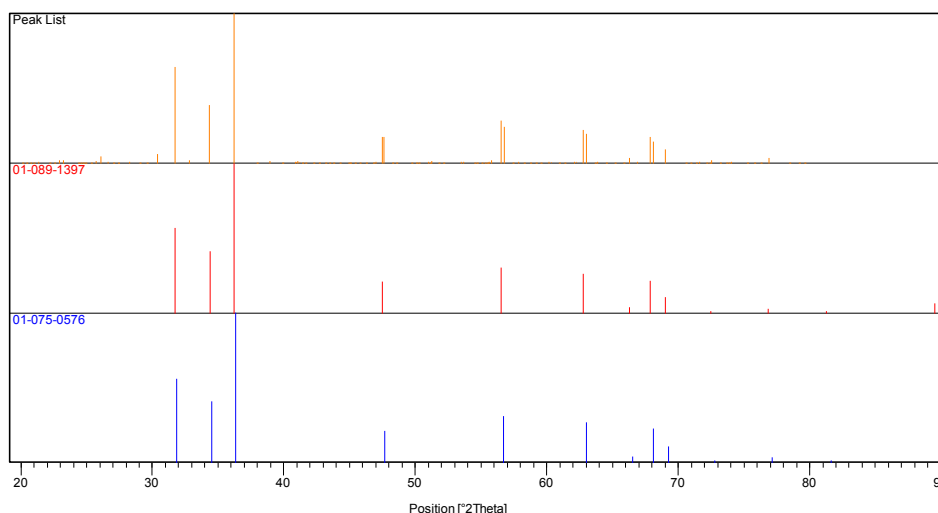
Gambar 4.1. Difraktogram XRD : (a) *xerogel* dan (b) ZnO.

Puncak difraktogram pada *xerogel* dengan pH 10 teramati pada $d(\text{\AA})= 2,82841; 2,60047; 2,47982; 1,91652; 1,63630; 1,47873; \text{ dan } 1,37917$. Puncak difraktogram pH 11 teramati pada $d(\text{\AA})= 2,81612; 2,60664; 2,48341; 1,91052; 1,62921; 1,47579; 1,40719; 1,35546; 1,37756 \text{ dan } 1,30166$. Sedangkan puncak difraktogram pH 12 teramati pada $d(\text{\AA})= 3,86239; 3,36735; 3,21955; 2,97223; 2,94250; 2,81705; 2,59975; 2,46370; 2,09396; 1,91272; 1,81865; 1,75544; 1,62583; 1,48074; \text{ dan } 1,37988$. Jika dibandingkan dengan *xerogel* pH 11 dan 12, *xerogel* dengan pH 10 memiliki struktur kristal tunggal karena tidak adanya pengotor lain yang muncul pada hasil difraktogramnya. Selain itu kristal pada masing-masing *xerogel* adalah amorf yang dapat diamati dengan melihat bentuk difraktogram yang melebar. Berdasarkan data *Powder Diffraction File* (PDF), *xerogel* dengan pH 10 memiliki kemiripan dengan data PDF no. 74-0094 yaitu data PDF yang spesifik $\text{Zn}(\text{OH})_2$.

Puncak difraktogram pada produk hasil kalsinasi dengan pH 10 teramati pada $d(\text{\AA})= 2,81815; 2,61012; 2,47898; 1,90884; 1,62630; 1,47832; 1,37960; 1,37651; \text{ dan } 1,36041$. Puncak difraktogram pada produk hasil kalsinasi dengan pH 11 teramati pada $d(\text{\AA})= 3,83335; 3,40953; 2,93436; 2,81215; 2,60077; 2,47786; 1,91134; 1,62678; 1,47741; 1,40715; 1,37912; \text{ dan } 1,35969$. Puncak difraktogram pada produk hasil kalsinasi dengan pH 12 teramati pada $d(\text{\AA})= 2,81594; 2,81262; 2,76504; 2,66472; 2,59745; 2,47394; 2,37030; 1,90828; 1,62479; 1,47720; 1,40727; 1,37797; \text{ dan } 1,35890$. Difraktogram yang terbentuk pada masing-masing pH menunjukkan bahwa kristal memiliki bentuk amorf namun lebih kristalin dibanding dengan bentuk kristal dari $\text{Zn}(\text{OH})_2$ yaitu puncak

difraktogramnya runcing atau spesifik dengan struktur kristal tunggal. Perbandingan pada pH 10;11;12 menunjukkan bahwa produk hasil kalsinasi dengan pH 10 yang paling optimum, karena tidak ada puncak difraktogram senyawa lain yang terlihat. Berdasarkan data *Powder Diffraction File* (PDF), produk hasil kalsinasi dengan pH 10 memiliki kemiripan dengan data PDF no. 80-0075 yaitu data PDF yang spesifik ZnO. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa *xerogel* yang terbentuk pada sintesis merupakan Zn(OH)_2 dan *xerogel* dengan penambahan suhu kalsinasi merupakan ZnO.

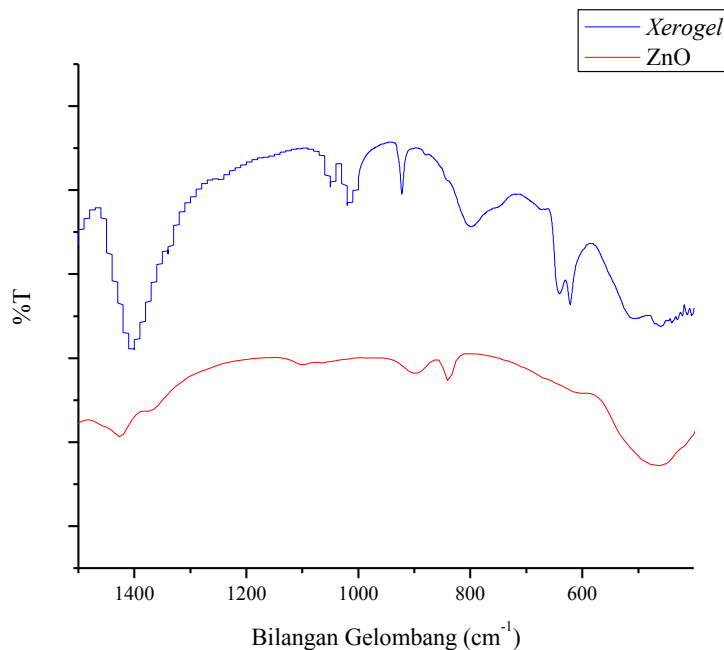
Analisis berikutnya menggunakan aplikasi *X'Pert HighScore* untuk membandingkan kristalinitas senyawa ZnO hasil sintesis. Hasil difraktogram pada pH 10 merupakan data hasil sintesis yang paling mendekati kristalinitas senyawa ZnO dengan struktur *wurtzite hexagonal*. Difraktogram hasil karakterisasi pada pH 10 ini dibuktikan dengan *reference code* no. 01-089-1397 dan *reference code* no. 01-075-0576. Puncak yang terlihat pada sudut $2\theta = 31,7522$ dan $36,2387$ memiliki kesesuaian dengan *reference code* no. 01-089-1397 dan *reference code* no. 01-075-0576. Sedangkan puncak yang terlihat pada sudut $2\theta = 34,3578$; $47,4798$; $56,5427$; $62,8034$; dan $67,8830$ memiliki kesesuaian dengan *reference code* no. 01-089-1397. Berdasarkan analisis menggunakan aplikasi *X'Pert HighScore reference code* yang teramati mengacu pada data *JCPDS no. 0036-1451*. Hasil analisis menggunakan aplikasi *X'Pert HighScore* dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.2. Hasil analisis dengan aplikasi *X'Pert HighScore*.

4.2.2 Karakterisasi ZnO dengan spektrofotometer FTIR

Analisis dengan spektrofotometer FTIR bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi dan ikatan yang terbentuk pada hasil sintesis. Hasil karakterisasi dari *xerogel* dengan spektrofotometer FTIR menunjukkan bahwa senyawa $\text{Zn}(\text{OH})_2$ sudah terbentuk dengan adanya vibrasi *stretching* dari Zn-O-H yang teramati pada bilangan gelombang $460,01 \text{ cm}^{-1}$. Berdasarkan penelitian dari Kloprogge dkk. (2004) *stretching* antara ikatan Zn-O-H terjadi pada bilangan gelombang antara $444 \text{ cm}^{-1} - 484 \text{ cm}^{-1}$. Sedangkan, analisis padatan hasil kalsinasi menunjukkan adanya vibrasi dari Zn-O yaitu pada bilangan gelombang $462,92 \text{ cm}^{-1}$. Vibrasi ikatan antara Zn-O terjadi pada bilangan gelombang antara $400\text{-}600 \text{ cm}^{-1}$ (Khan dkk, 2011); (Klingshirn dkk, 2010); (Nakamoto, 1986); (Nyquist dkk, 2012). Spektrum hasil analisis dengan spektrofotometer FTIR ini dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3. Spektrum FTIR *xerogel* dan padatan hasil kalsinasi.

4.3 Aplikasi senyawa ZnO sebagai Semikonduktor dalam DSSC

4.3.1 Pelapisan ZnO pada pelat kaca

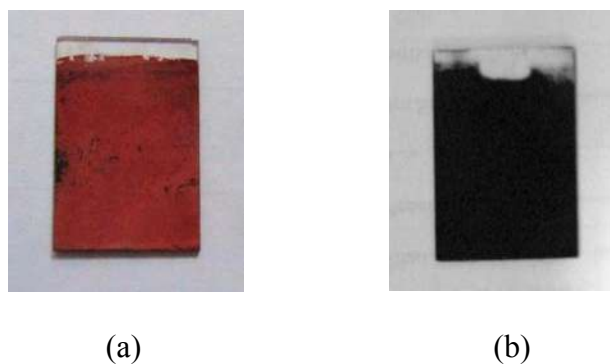
Pelapisan ZnO pada pelat kaca menggunakan metode *Doctor Blade*, yaitu dengan melapiskan pasta semikonduktor pada kaca dengan bantuan batang pengaduk. Proses pembuatan pasta ZnO yaitu dengan menambahkan tetes demi tetes asam asetat ke dalam serbuk ZnO sampai terbentuk pasta yang berwarna putih pekat. Pembuatan pasta berfungsi agar semikonduktor ZnO yang dilapiskan pada kaca mudah melekat dan lapisannya tebal. Kaca yang sudah dilapisi ZnO ini kemudian dipanaskan dalam oven dengan suhu $\pm 80^{\circ}\text{C}$ selama 10 menit. Tujuan dilakukannya pemanasan ini adalah supaya ZnO yang dilapiskan bisa menempel pada kaca dan tidak hilang atau larut saat direndam dalam pewarna. Hasil pelapisan kaca dengan semikonduktor ZnO ditunjukkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4. Pelat kaca yang sudah dilapisi dengan semikonduktor ZnO.

4.3.2 Pembuatan elektroda kerja pada DSSC

Pembuatan elektroda kerja yaitu dengan merendam kaca yang sudah dilapisi dengan semikonduktor ZnO ke dalam larutan Co(II)-*congo red* dengan konsentrasi 10^{-2} M selama 24 jam. Perendaman ini berfungsi supaya *dye* dapat terserap maksimum pada semikonduktor (Listari, 2010). Sedangkan, pada pembuatan elektroda pembanding yaitu melapisi kaca dengan karbon dari hasil pembakaran lilin. Warna elektroda kerja yang terbentuk yaitu merah sedangkan elektroda pembanding hitam. Hasil dari elektroda kerja dan elektroda pembanding ditunjukkan dalam Gambar 4.5.

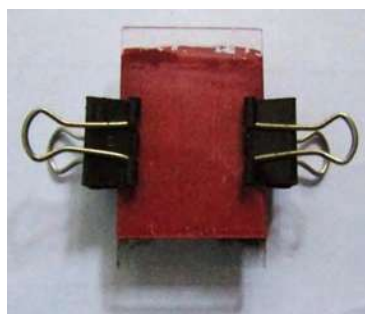


Gambar 4.5. Hasil pelapisan pada kaca : (a) Elektroda kerja, (b) Elektroda pembanding.

4.3.3 Pengukuran kinerja DSSC

4.3.3.1 Perangkaian DSSC

Perangkaian DSSC yaitu dengan meletakkan secara berhadapan elektroda kerja dengan elektroda pembanding yang berupa lapisan karbon dan ditetesi dengan larutan I_2 dalam KI. Rangkaian DSSC ini kemudian dijepit menggunakan klip penjepit dan diukur efisiensinya dengan multimeter. Rangkaian DSSC ini dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6. Rangkaian DSSC

4.3.3.2 Pengukuran arus dan voltase DSSC terhadap jumlah hari

Pada penelitian ini pengukuran arus dan voltase terhadap jumlah hari dilakukan selama 14 hari secara berturut-turut pada pukul 10.00-13.00 WIB. Pengukuran ini dilakukan dengan menggunakan elektroda kerja elektroda kerja ZnO dan ZnO dengan Co(II)-*congo red*. Intensitas sinar matahari yang terukur pada *Lightmeter* memiliki rentang antara 737-816 lux selama 14 hari berturut-turut. Hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Arus dan voltase rata-rata pada pengukuran DSSC.

Elektroda Kerja	Rata-rata arus (mA)	Rata-rata voltase (V)
ZnO	29,64	0,25
ZnO dengan Co(II)- <i>congo red</i>	32,14	0,27

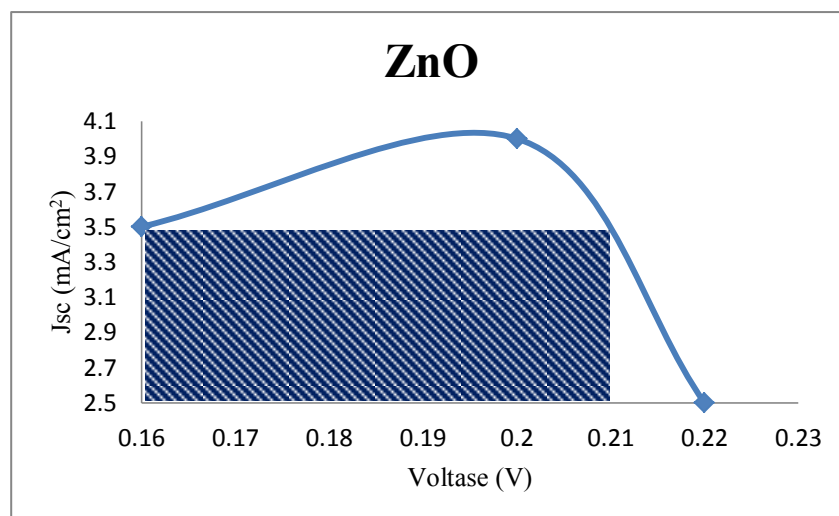
Berdasarkan data pengukuran arus dan voltase sel DSSC selama 14 hari dapat diamati bahwa penambahan pewarna dalam hal ini kompleks Co(II)-*congo red* dapat meningkatkan kinerja DSSC yaitu dengan menghasilkan arus dan voltase rata-rata yang cukup besar.

4.3.3.3 Pengukuran kurva I-V

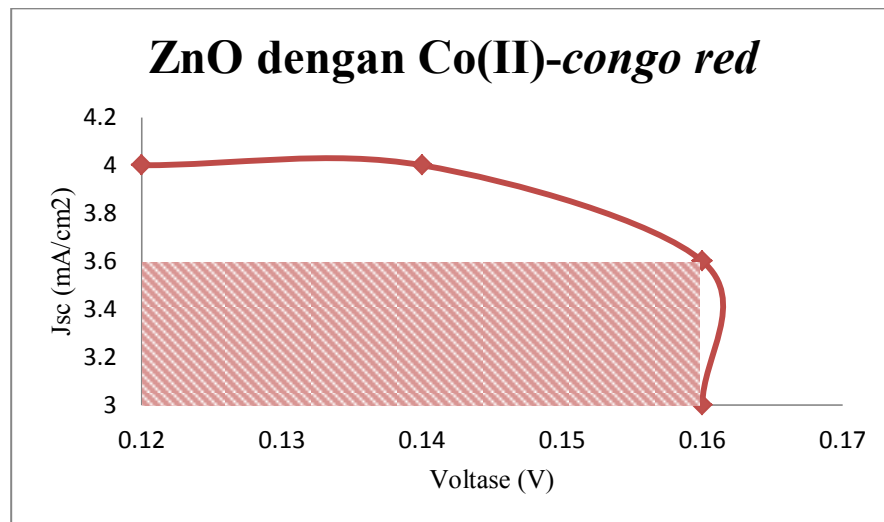
Pengukuran kurva I-V ini dilakukan dengan pemberian beban eksternal pada sel DSSC dan mengukur arus serta voltase yang dihasilkan oleh sel DSSC (Kalyanasundaram, 2010). Beban yang digunakan pada penelitian ini adalah potensiometer yang memiliki resistivitas 100 K Ω . Hasil pengukuran arus-voltase (I-V) yang ditunjukkan dalam Tabel 4.2 dan Gambar 4.7.

Tabel 4.2. Data hasil pengukuran arus-voltase (I-V)

	Isc (mA)	Voc (Volt)	Vmpp (Volt)	Impp (mA)	Jsc (mA/cm ²)	FF	Lux
ZnO	14	0,22	0,21	3,1	3,5	0,211364	689
ZnO dengan Co(II)- <i>congo red</i>	16	0,16	0,16	3,5	4	0,21875	589



Gambar 4.7. Karakteristik kurva I-V pada semikonduktor ZnO.



Gambar 4.8. Karakteristik kurva I-V pada semikonduktor ZnO dengan penambahan *dye* Co(II)-congo red.

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran I-V terhadap semikonduktor ZnO dan semikonduktor ZnO dengan Co(II)-congo red. Pengukuran I-V bertujuan untuk mendapatkan efisiensi dari masing-masing semikonduktor. Pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 diperoleh nilai arus rangkaian pendek (I_{sc}) pada semikonduktor ZnO sebesar 14,00 mA dan 16,00 mA pada semikonduktor ZnO dengan penambahan Co(II)-congo red. Selain itu juga diperoleh nilai arus rangkaian terbuka (V_{oc}) sebesar 0,22 V dan 0,16 V. Nilai I_{mpp} dan V_{mpp} diperoleh berdasarkan perkalian antara arus dan tegangan tiap titik sehingga diperoleh luasan yang paling besar. Dari data yang diperoleh maka dapat ditentukan efisiensi pada semikonduktor ZnO dan semikonduktor ZnO dengan Co(II)-congo red sebesar 0,29 % dan 0,30 %. Dibandingkan dengan efisiensi semikonduktor TiO_2 , sel DSSC dengan semikonduktor ZnO menghasilkan efisiensi yang lebih besar. Perbandingan efisiensi ZnO dengan TiO_2 sebagai semikonduktor pada DSSC ditampilkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Efisiensi ZnO dengan TiO₂ sebagai semikonduktor pada DSSC

Semikonduktor	Efisiensi (%) pada DSSC
ZnO	0,29
TiO ₂	0,03

Senyawa ZnO dapat digunakan sebagai alternatif semikonduktor pada DSSC karena efisiensi hasil pengukuran DSSC dengan semikonduktor ZnO lebih tinggi dibandingkan dengan DSSC dengan semikonduktor TiO₂ yaitu 0,29 %. Senyawa ZnO memiliki *band gap* yang lebar yakni 3,3 eV dan kemampuan mengikat elektron bebas 60 MeV (Pearton dkk, 2004), sehingga saat diaplikasikan pada sel DSSC efisiensinya lebih tinggi. Perbandingan efisiensi ZnO hasil sintesis dengan penelitian lainnya pada DSSC dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Efisiensi ZnO hasil sintesis dengan berbagai metode lainnya pada DSSC

Semikonduktor	Efisiensi	Referensi
ZnO	0,11 %	Syukron dkk, 2012
	0,15 %	Prasetya dkk, 2013
	0,024 %	Satiadi dkk, 2013
	0,03 %	Sumiarna, 2014
	0,02 %	Sari, 2015
	0,29 %	Hasil Penelitian saat ini

Berdasarkan Tabel 4.4 menunjukkan bahwa sel surya dengan semikonduktor ZnO sintesis cukup tinggi dibandingkan penelitian lain yang telah dilakukan sebelumnya. Keunggulan ZnO sintesis pada penelitian ini yaitu menggunakan metode solvothermal dengan pemanasan pada suhu 600°C. berdasarkan penelitian dari Zakaria dkk, 2015, suhu pemanasan yang cukup tinggi

mempengaruhi terjadinya pergeseran didaerah penyerapannya, sehingga berpengaruh pada *band gap* yang dihasilkan. Selain suhu, metode pelapisan yang digunakan juga mempengaruhi efisiensi semikonduktor ZnO. Metode pelapisan *doctor Blade* memiliki keunggulan yaitu lapisan yang terbentuk lebih tebal dibanding metode lainnya. Selain itu metode pelapisan dengan *doctor Blade* lebih mudah dilakukan karena hanya digunakan bantuan batang pengaduk.

BAB V**KESIMPULAN DAN SARAN****5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Sintesis ZnO dengan metode solvothermal dilakukan dengan variasi pH 10;11;12 pada suhu 75°C dan pH optimum campuran reaksi adalah 10.
2. Hasil difraktogram pada pH 10 merupakan data hasil sintesis yang paling mendekati kristalinitas senyawa ZnO dengan struktur *wurtzite hexagonal* yang mengacu pada data standar *JCPDS no. 0036-1451*. Spektrum FTIR menunjukkan adanya vibrasi Zn-O-H pada bilangan gelombang 460,01 cm^{-1} dan vibrasi Zn-O pada bilangan gelombang 462,92 cm^{-1} .
3. Senyawa ZnO terbukti dapat digunakan sebagai alternatif semikonduktor dalam DSSC yaitu dengan arus maksimum (I_{sc}) yang terukur sebesar 14 mA dan tegangan maksimum (V_{oc}) 0,22 V dengan efisiensi sebesar 0,29%.

5.2 Saran

Penelitian DSSC ini masih perlu dikembangkan lebih lanjut dengan metode sintesis lain dan semokinduktor lain yang mampu menghasilkan efektifitas semikonduktor yang lebih tinggi. Serta model perakitan yang perlu dikembangkan karena model perakitan sel DSSC ini masih sangat sederhana.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Kahlout, A., 2012, **ZnO Nanoparticles and Porous Coatings for Dye-Sensitized Solar Cell application: Photoelectrochemical characterization**, *Thin Solid Films*, Vol. 520(6), 1814-1820.
- Al-Kahlout, A., 2015, **Thermal Treatment Optimization of ZnO Nanoparticles-photoelectrodes for high Photovoltaic performance of Dye-Sensitized Solar Cells**, *Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences*, Vol. 17, 66-72.
- Bacaksiz, E., Parlak, M., Tomakin, M., Özçelik, A., Karakız, M., Altunbaş, M., 2008, **The effects of zinc nitrate, zinc acetate and zinc chloride precursors on investigation of structural and optical properties of ZnO thin films**, *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 466(1), 447-450.
- Bedia, A., Bedia, F.Z., Aillerie, M., Maloufi, N., & Benyoucef, B., 2015, **Morphological and Optical properties of ZnO thin films prepared by spray pyrolysis on glass substrates at various temperatures for integration in solar cell**, *Energy Procedia*, Vol. 74, 529-538.
- Caglar, Y., Aksoy, S., Ilican, S., Caglar, M., 2009, **Crystalline structure and morphological properties of undoped and Sn doped ZnO thin films**. *Superlattices and Microstructures*, Vol. 46(3), 469-475.
- Christy, A. A., Ozaki, Y., Gregoriou, V. G., 2001, **Modern Fourier Transform Infrared Spectroscopy**, Elsevier.
- Conde, M., Dakhsi, H., Hafid, Z., Karima, A., Larbi, L., Mohammed, B., Boujemaa, J., 2011, **Preparation of ZnO Nanoparticles without Any Annealing and Ripening Treatment**, *Journal of Materials Science and Engineering*, Vol. 1 : 985-990.
- Coyle, E., 2014, **Understanding the Global Energy Crisis**, Military Technological College Sultanate of Oman, Purdue University Press, India.
- Cullity, B. D., & Stock, S. R., 2001, **Elements of X-ray Diffraction** Vol. 3, p. 15, Upper Saddle River, NJ: Prentice hall.
- Grätzel, M., 2003, **Dye-Sensitized Solar Cells**, *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, Vol. 4(2), 145-153.
- Iskandar, F., Okuyama, K., & Shi, F. G., 2001, **Stable photoluminescence of zinc oxide quantum dots in silica nanoparticles matrix prepared by the combined sol-gel and spray drying method**, *Journal of Applied Physics*, Vol. 89(11), 6431-6434.

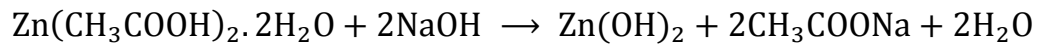
- Kalyanasundaram, E. K., 2010, **Dye-Sensitized Solar Cells**, EPFL Press, Lausanne, Switzerland, 1-9.
- Karmakar, A.S., Ruparelia, J.P, 2011, **A Critical Review on Dye Sensitized Solar Cells**, *International Conference On Current Trends In Technology*, Institut of Technology Nirma university, Ahmedabad, 382-481.
- Kashif, M. K., Axelson, J. C., Duffy, N. W., Forsyth, C. M., Chang, C. J., Long, J. R., Bach, U., 2012, **A new direction in Dye-Sensitized Solar Cells Redox Mediator Development: In situ fine-tuning of the Cobalt (II)/(III) Redox Potential through Lewis base interactions**, *Journal of the American Chemical Society*, Australia, Vol. 134(40), 16646-16653.
- Khan, Z. R., Khan, M. S., Zulfeqar, M., & Khan, M. S., 2011, **Optical and Structural Properties of ZnO Thin Film Fabricated by Sol-Gel Method**, *Material Science and Applications*, Vol. 2(05) 340.
- Klingshirn, C. F., Waag, A., Hoffman, A., & Geuts, J., 2010, **Zinc Oxide : from Fundamental Properties towards novel application**, Springer Science & Business Media, Vol. 120.
- Kloprogge, J. T., Hickey, L., & Frost, R. L., 2004, **FT-Raman and FT-IR Spectroscopic study of synthetic Mg/Zn/Al-Hidrotalcites**, *Journal of Raman Spectroscopy*, Vol. 35(11), 967-974.
- Krašovec, U. O., Bokalič, M., Topič, M., 2013, **Ageing of DSSC studied by electroluminescence and transmission imaging**, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 117, 67-72.
- Kumara, M. S. W., dan Prajitno, G., 2012, **Studi Awal Fabrikasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) dengan Menggunakan Ekstraksi Daun Bayam (Amaranthus Hybridus L.) sebagai Dye Sensitizer dengan Variasi Jarak Sumber Cahaya pada DSSC**, *Jurnal Ilmiah, Institut Teknologi Sepuluh Nopembe, Surabaya*.
- Langford, J. I., & Wilson, A. J. C., 1978, **Scherrer after sixty years: a survey and some new results in the determination of crystallite size**, *Journal of Applied Crystallography*, Vol. 11(2), 102-113.
- Lee, B., Komarneni, S. (Eds.), 2005, **Chemical Processing of Ceramics**, CRC Press.
- Listari, N., 2010, **Pewarna Anorganik Dari Kompleks Besi Formazan sebagai Fotosensitizer pada Sel Surya Pewarna Tersensitisasi (SSPT)**, *Thesis, Jurusan Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya*.
- Martosaputro, S., dan Murti, N., 2014, **Blowing the Wind Energy in Indonesia**, *Energy Procedia*, Vol. 47, 273-282.

- Mishra, A., Fischer, M. K., Bäuerle, P., 2009, **Metal-free Organic dyes for Dye-Sensitized Solar Cells: From structure: Property relationships to design rules**, *Angewandte Chemie International Edition*, Vol. 48(14), 2474-2499.
- Nakamoto, K., 1986, **Infrared and Raman Spectra of Inorganic and Coordination Compounds**, John Wiley & Sons, Ltd.
- Nyquist, R.A., & Kagel, R. O., 2012, **Handbook of Infrared and Raman Spectra of Inorganic Compounds and Organic Salts : Infrared Spectra of Inorganic Compounds**, Academic Press, Vol. 4.
- Pagliaro, M., Palmisano, G., Ciriminna, R., 2008, *Flexible Solar Cells*, John Wiley & Sons, German.
- Palomino, A. G. P., 2006, **Room-Temperature Synthesis and Characterization of Highly Monodisperse Transition Metal-Doped ZnO Nanocrystals** (Doctoral dissertation, University of Puerto Rico Mayagüez Campus).
- Pearnton, S. J., Norton, D. P., Ip, K., Heo, Y. W., Steiner, T., 2004, **Recent advances in processing of ZnO**, *Journal of Vacuum Science & Technology B*, Vol. 22(3), 932-948.
- Prasetya, A. N., & Susanti, D., 2013, **Pengaruh Temperatur Kalsinasi pada Kaca FTO yang di-coating ZnO terhadap Efisiensi DSSC (Dye Sensitized Solar Cell) yang Menggunakan Dye dari Buah Terung Belanda (*Solanum betaceum*)**, *Jurnal Teknik ITS*, Vol. 2(2), F378-F383.
- Rahman, A., 2011, **Fabrikasi dan Karakterisasi Nanopartikel ZnO untuk aplikasi Dye-Sensitized Solar Cell**, *Tesis*, jurusan Teknik Metalurgi dan Material, Universitas Indonesia, Depok.
- Sari, K., & Sunardi, 2015, **Sifat Listrik Lapisan Tipis Zinc Oxide Doping Dye Organik dari Buah Naga (*Hylocereus Undatus*)**, *Jurnal Ilmiah*, Universitas Jenderal Seodirman, Purwokerto.
- Sastrohamidjojo, H., 2001, **Dasar-Dasar Spektroskopi**, *Yogyakarta Universitas Gadjah Mada (UGM)*, Yogyakarta.
- Satiadi, R., Rosa, E. S., & Shobih, S., 2013, **Studi Karakterisasi Listrik Sel Surya Polimer Hibrid Berbasis P3HT-ZnO pada Substrat Fleksibel**, *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, Vol. 9(3), 111-115.
- Segets, D., Gradl, J., Taylor, R. K., Vassilev, V., Peukert, W., 2009, **Analysis of optical absorbance spectra for the determination of ZnO nanoparticle size distribution, solubility, and surface energy**, *ACS nano*, Vol. 3(7), 1703-1710.

- Stuart, B. H., 2004, **Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications**, John Wiley & Sons.
- Sumiarna, G. P. A., 2014, **Sintesis dan Karakterisasi ZnO Nanorod untuk Aplikasi Dye Sensitized Solar Cell menggunakan Ekstrak Antosianin dari Buah Lampeni (*Ardisia humilis* Vahl)**,
- Susanti, D., Nafi, M., Purwaningsih, H., Fajarin, R., Kusuma, G. E., 2014, **The Preparation of Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) from TiO₂ and Tamarillo Extract**, *Procedia Chemistry*, Vol. 9, 3-10.
- Tahid, 1994, **Spektroskopi Inframerah Transformasi Fourier No II Th VIII**, Bandung : Warta Kimia Analitis.
- Wang, J., Cao, J., Fang, B., Lu, P., Deng, S., Wang, H., 2005, **Synthesis and characterization of multipod, flower-like, and shuttle-like ZnO frameworks in ionic liquids**, *Materials Letters*, Vol. 59(11), 1405-1408.
- Willander, M., Nur, O., ul Hasan, K., Amin, G., Soomro, M. Y., 2014, **Zinc Oxide Nanostructures: Synthesis, Characterization, and Device Applications on Nonconventional Substrates**, *Zinc Oxide Nanostructures: Advances and Applications*, 185, Pan Stanford Publishing, U.S.
- Witjaksono, A., 2011, **Karakterisasi Nanokristalin ZnO Hasil Presipitasi dengan perlakuan Pengeringan, Anil dan Pasca-Hidrotermal**, *Tesis*, Jurusan Teknik Metalurgi dan Material, Universitas Indonesia, Depok.
- Yang, J. H., Bark, C. W., Kim, K. H., Choi, H. W., 2014, **Characteristics of the Dye-Sensitized Solar Cells Using TiO₂ Nanotubes Treated with TiCl₄**, *Materials*, Vol. 7(5), 3522-3532.
- Yulianti, C.H., Ediati R., Prasetyoko, D., 2006, **Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel ZnO sebagai Support Katalis**, *Jurnal Ilmiah, Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, Surabaya.
- Yuwono, A. H., Dharma, H., 2015, **Fabrikasi Nanorod Seng Oksida (ZnO) menggunakan Metode Sol-Gel dengan Variasi Konsentrasi Polyethylene Glycol dan waktu tunda Evaporasi Amonia**, *Majalah Metalurgi*, Vol. 26(2), 101-108.
- Zamrani, R. A., dan Gontjang, P., 2013, **Pembuatan Dan Karakterisasi Prototipe Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Ekstraksi Kulit Buah Manggis Sebagai Dye Sensitizer Dengan Metode Doctor Blade**, *Institut Teknologi Sepuluh Nopember: Surabaya*.
- Zakaria, H., 2015, **Pengaruh Pemanasan Terhadap Struktur dan Sifat Optik Kristal ZnO**, *Jurnal Ilmiah*, Universitas Hasanuddin.

LAMPIRAN

Lampiran 1

➤ **Pembuatan NaOH 0,2 M**

$$M = \frac{m}{mr} \times \frac{1000}{\text{volume}}$$

$$0,2 = \frac{m}{40} \times \frac{1000}{40}$$

$$m = 0,32 \text{ gram}$$

➤ **Pembuatan $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0,1 M**

$$M = \frac{m}{mr} \times \frac{1000}{\text{volume}}$$

$$0,1 = \frac{m}{216,37} \times \frac{1000}{50}$$

$$m = 1,0818 \text{ gram}$$

➤ **Perhitungan konsentrasi *dye***

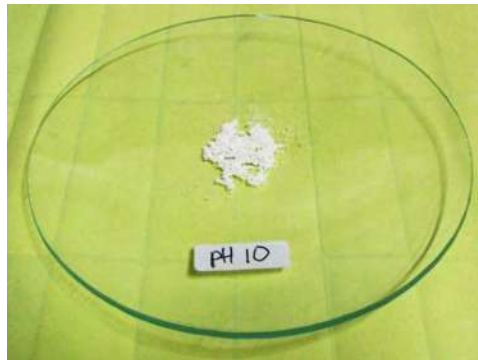
$$M = \frac{m}{mr} \times \frac{1000}{\text{volume}}$$

$$10^{-2} = \frac{m}{696,665} \times \frac{1000}{100}$$

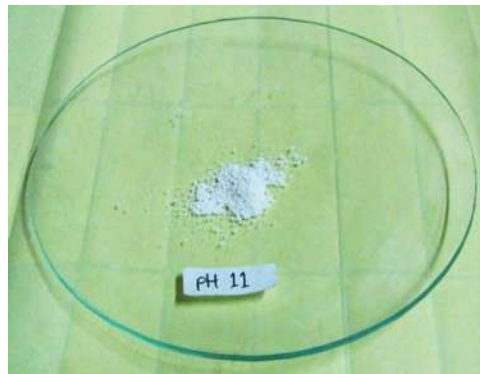
$$m = 0,7 \text{ gram}$$

Lampiran 2
Produk Hasil Sintesis

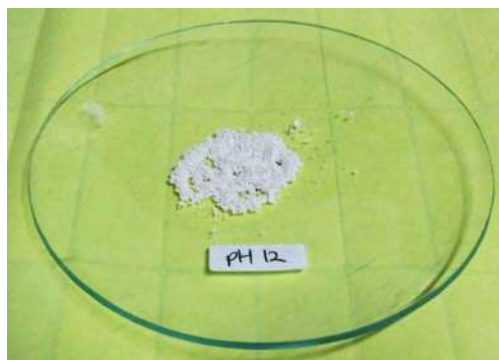
➤ **Hasil sintesis ZnO pH 10**



➤ **Hasil sintesis ZnO pH 11**



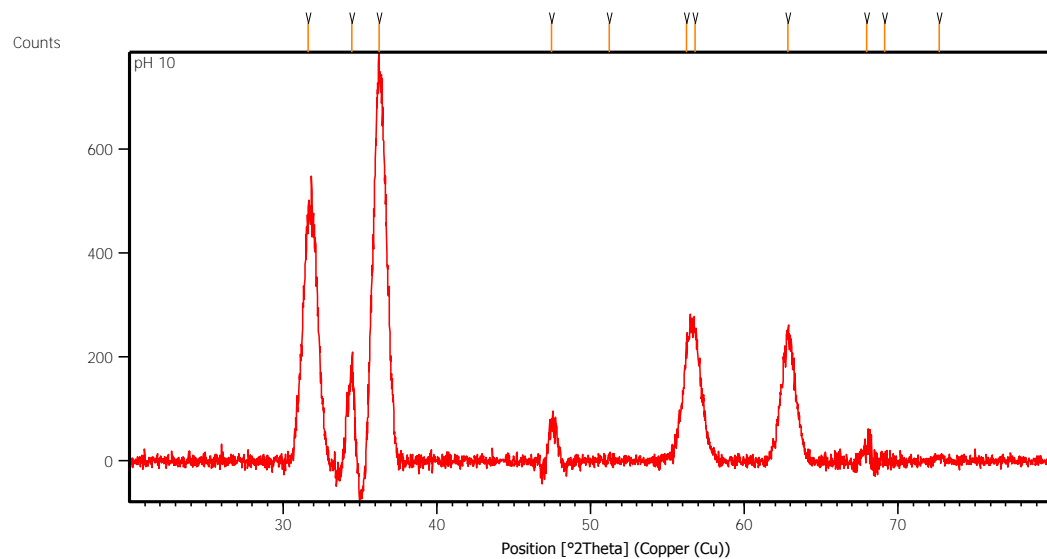
➤ **Hasil sintesis ZnO pH 12**



Lampiran 3

Difraktogram XRD

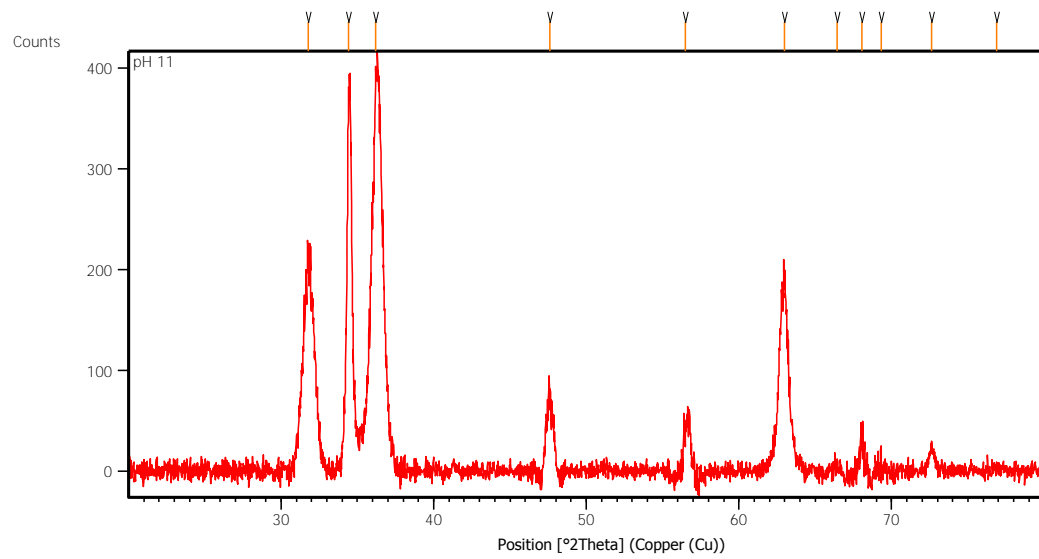
➤ Grafik difraktogram XRD *xerogel* pH 10



Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
31.6344	502.48	0.2007	2.82841	55.61
34.4903	510.21	0.6691	2.60047	56.46
36.2251	903.66	0.3346	2.47982	100.00
47.4390	183.00	0.8029	1.91652	20.25
51.2271	5.42	0.2007	1.78334	0.60
56.2176	204.57	0.4015	1.63630	22.64
56.8067	251.54	0.3346	1.62072	27.84
62.8458	246.22	0.4015	1.47873	27.25
67.9714	175.91	0.8029	1.37917	19.47
69.1211	96.23	0.6691	1.35901	10.65
72.6522	17.37	0.5353	1.30142	1.92

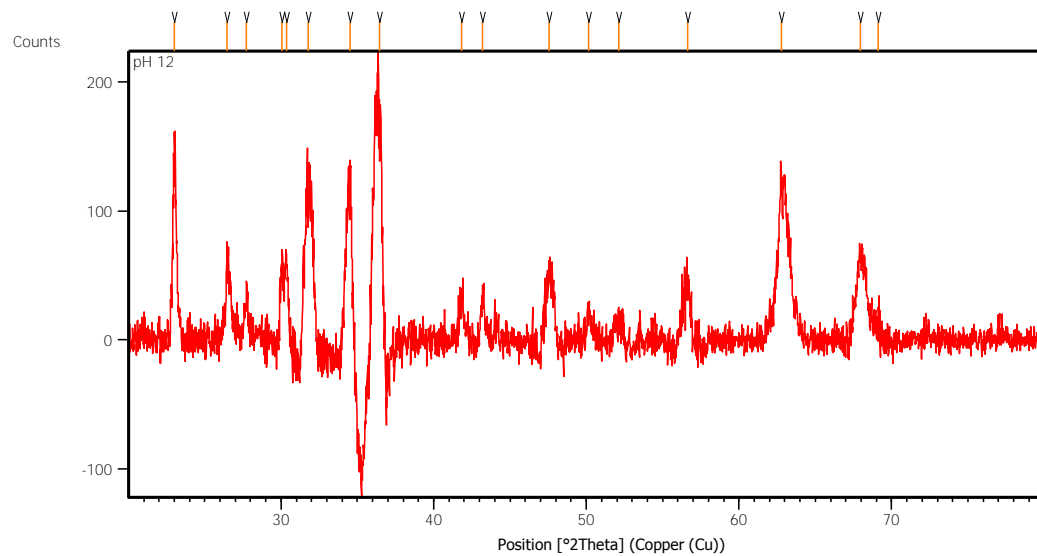
➤ **Grafik difraktogram XRD *xerogel* pH 11**



Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
31.7761	212.34	0.4684	2.81612	57.12
34.4060	345.80	0.1171	2.60664	93.02
36.1709	371.74	0.1673	2.48341	100.00
47.5970	113.18	0.6022	1.91052	30.45
56.4842	140.25	0.6691	1.62921	37.73
62.9853	189.91	0.1673	1.47579	51.09
66.4403	23.19	0.5353	1.40719	6.24
68.0616	137.57	0.5353	1.37756	37.01
69.3283	57.71	0.5353	1.35546	15.53
72.6371	22.31	0.3346	1.30166	6.00
76.8576	15.68	0.5353	1.24036	4.22

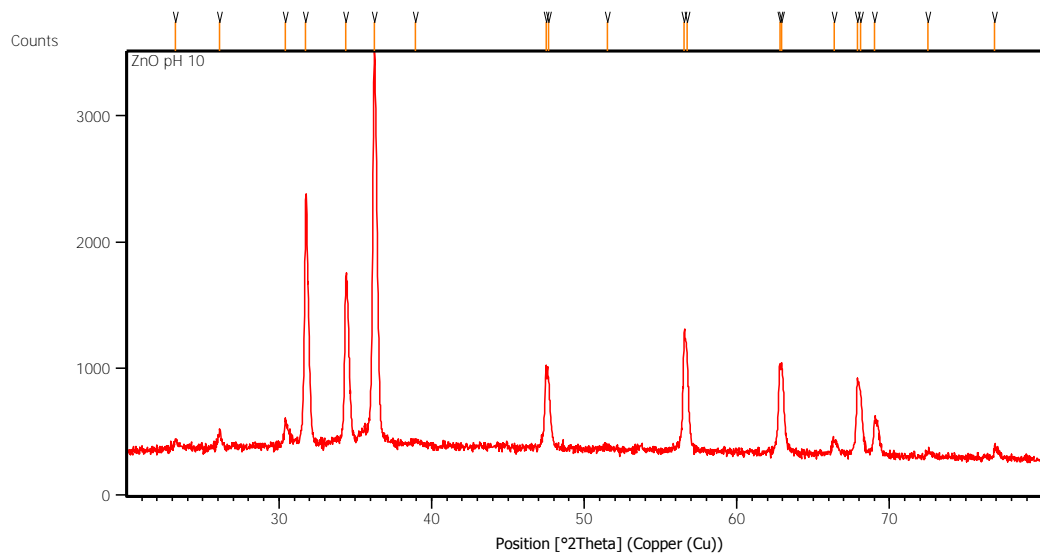
➤ **Grafik difraktogram XRD *xerogel* pH 12**



Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
23.0273	153.40	0.2007	3.86239	41.91
26.4699	61.67	0.1673	3.36735	16.85
27.7087	32.57	0.2007	3.21955	8.90
30.0665	85.16	0.1673	2.97223	23.27
30.3776	88.50	0.2007	2.94250	24.18
31.7653	247.16	0.8029	2.81705	67.52
34.5001	286.48	0.6022	2.59975	78.26
36.4703	366.05	0.7360	2.46370	100.00
41.8363	32.23	0.2676	2.15928	8.80
43.2059	32.93	0.2007	2.09396	8.99
47.5389	97.43	0.5353	1.91272	26.62
50.1628	24.80	0.2007	1.81865	6.77
52.1020	19.63	0.6691	1.75544	5.36
56.6119	133.21	0.7360	1.62583	36.39
62.7507	134.64	0.1004	1.48074	36.78
67.9315	83.57	0.3346	1.37988	22.83
69.1363	43.45	0.6691	1.35875	11.87

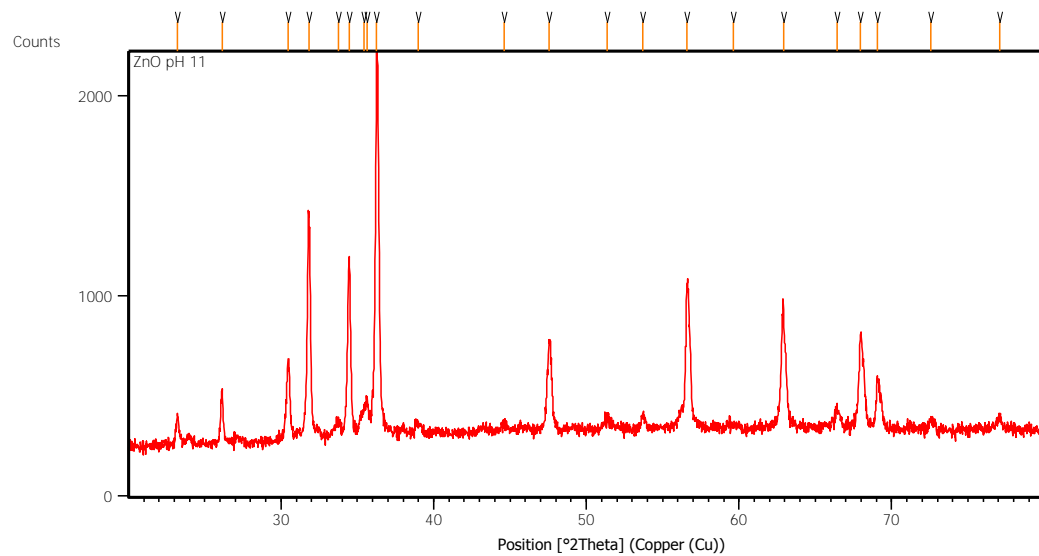
➤ **Grafik difraktogram XRD ZnO dengan pH 10**



Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
23.2171	72.83	0.2007	3.83123	2.36
26.0956	135.47	0.1338	3.41480	4.38
30.4264	205.53	0.1673	2.93790	6.65
31.7526	1994.76	0.1673	2.81815	64.51
34.3588	1210.33	0.1171	2.61012	39.14
36.2378	3092.15	0.1673	2.47898	100.00
38.9527	51.19	0.5353	2.31223	1.66
47.4805	552.05	0.0816	1.91336	17.85
47.6414	556.40	0.1004	1.90884	17.99
51.4960	19.69	0.8029	1.77466	0.64
56.5430	881.40	0.1020	1.62630	28.50
56.7360	769.76	0.1004	1.62257	24.89
62.8071	696.78	0.1428	1.47832	22.53
62.9441	684.52	0.1004	1.47666	22.14
66.3935	105.87	0.3346	1.40806	3.42
67.8833	555.18	0.0816	1.37960	17.95
68.1209	461.96	0.1338	1.37651	14.94
69.0403	287.92	0.1673	1.36041	9.31
72.5355	39.75	0.2676	1.30323	1.29
76.8998	96.14	0.1224	1.23876	3.11

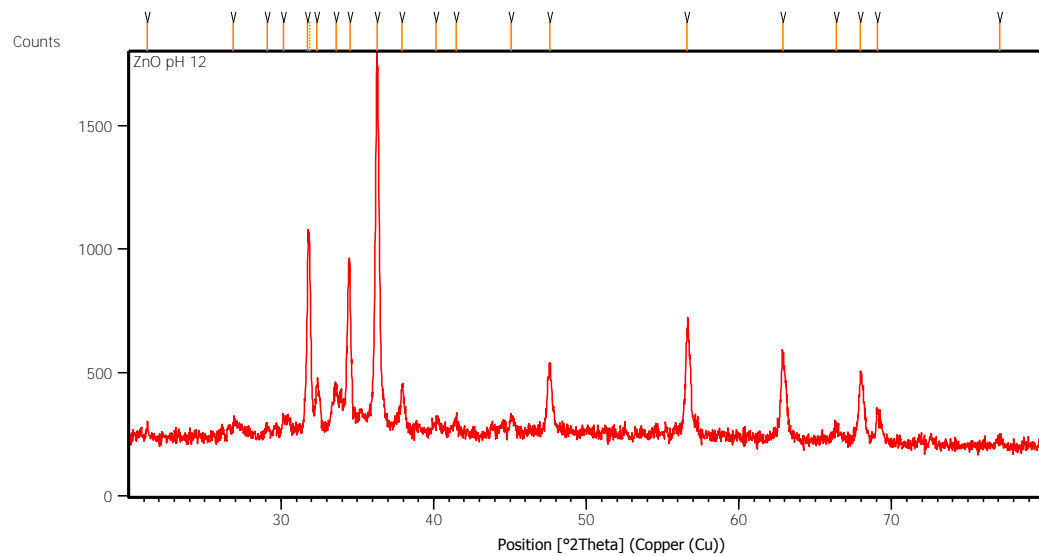
➤ **Grafik difraktogram XRD ZnO dengan pH 11**



Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
23.2041	157.50	0.1004	3.83335	8.35
26.1366	260.02	0.0836	3.40953	13.78
30.4639	411.45	0.1004	2.93436	21.81
31.8222	1139.51	0.2007	2.81215	60.40
33.7340	69.24	0.2676	2.65702	3.67
34.4861	866.06	0.1673	2.60077	45.91
35.4366	141.38	0.2676	2.53316	7.49
35.6371	175.44	0.1338	2.51937	9.30
36.2548	1886.60	0.1840	2.47786	100.00
38.9944	48.74	0.4015	2.30985	2.58
44.5983	25.11	0.4015	2.03176	1.33
47.5753	439.67	0.2342	1.91134	23.30
51.3591	54.35	0.4015	1.77907	2.88
53.6904	69.11	0.2342	1.70719	3.66
56.5761	688.69	0.1004	1.62678	36.50
59.6391	19.71	0.8029	1.55034	1.04
62.9083	614.55	0.1506	1.47741	32.57
66.4424	88.54	0.3346	1.40715	4.69
67.9744	471.53	0.1673	1.37912	24.99
69.0817	252.69	0.1673	1.35969	13.39
72.5585	49.22	0.2007	1.30287	2.61
77.0923	66.82	0.2342	1.23717	3.54

➤ **Grafik difraktogram XRD ZnO dengan pH 12**



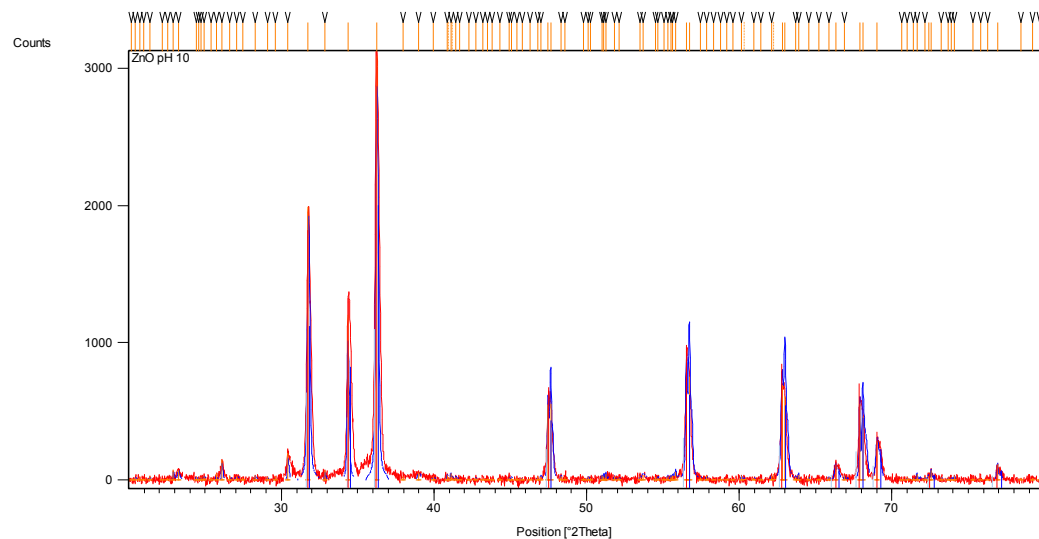
Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
21.2454	61.62	0.1004	4.18212	3.93
26.8504	41.69	0.5353	3.32049	2.66
29.0859	46.53	0.2007	3.07017	2.97
30.1661	80.94	0.2007	2.96265	5.16
31.7511	758.17	0.1224	2.81594	48.32
31.8708	779.91	0.0612	2.81262	49.70
32.3515	208.83	0.2448	2.76504	13.31
33.6049	190.96	0.2040	2.66472	12.17
34.5021	702.07	0.1836	2.59745	44.74
36.2831	1569.15	0.2652	2.47394	100.00
37.9286	204.30	0.1632	2.37030	13.02
40.1726	54.17	0.6528	2.24292	3.45
41.4555	78.12	0.2448	2.17643	4.98
45.0822	54.20	0.3264	2.00941	3.45
47.6146	264.08	0.3264	1.90828	16.83
56.6003	415.19	0.2856	1.62479	26.46
62.8603	357.29	0.2040	1.47720	22.77
66.3737	66.39	0.3264	1.40727	4.23
67.9748	285.25	0.2448	1.37797	18.18
69.0621	130.86	0.1224	1.35890	8.34
77.0660	30.81	0.4896	1.23650	1.96

Lampiran 4

Difraktogram XRD menggunakan aplikasi *X'Pert HighScore*

➤ Grafik difraktogram XRD ZnO dengan pH 10



Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]	Tip width [°2Th.]	Matched by
20.1734	9.34	0.1004	4.40187	0.30	0.1204	
20.4367	17.02	0.0502	4.34577	0.55	0.0602	
20.7293	18.92	0.0502	4.28508	0.61	0.0602	
20.9939	6.72	0.0669	4.23167	0.22	0.0803	
21.3731	27.58	0.0502	4.15743	0.89	0.0602	
22.2014	4.54	0.0669	4.00416	0.15	0.0803	
22.5590	12.17	0.2007	3.94150	0.39	0.2409	
22.9210	74.87	0.0502	3.88006	2.42	0.0602	
23.2416	70.07	0.1338	3.82725	2.26	0.1606	
24.4044	22.73	0.0836	3.64746	0.73	0.1004	
24.5828	10.57	0.0502	3.62139	0.34	0.0602	
24.7314	18.92	0.0669	3.59997	0.61	0.0803	
24.9108	23.84	0.1338	3.57446	0.77	0.1606	
25.3743	15.68	0.0502	3.51020	0.51	0.0602	
25.7216	48.15	0.0335	3.46359	1.56	0.0401	
26.0958	148.32	0.0669	3.41476	4.79	0.0803	
26.6134	29.78	0.0502	3.34952	0.96	0.0602	
27.0447	25.27	0.2007	3.29707	0.82	0.2409	
27.4527	13.22	0.1004	3.24900	0.43	0.1204	

28.2908	32.37	0.0502	3.15462	1.05	0.0602	
29.0754	17.90	0.0502	3.07126	0.58	0.0602	
29.6161	24.74	0.0502	3.01641	0.80	0.0602	
30.4229	197.08	0.0836	2.93822	6.37	0.1004	
31.7522	1995.61	0.1673	2.81819	64.50	0.2007	01-089-1397; 01-075-0576
32.8420	67.44	0.0502	2.72712	2.18	0.0602	
34.3578	1204.61	0.1171	2.61019	38.94	0.1405	01-089-1397
36.2387	3093.81	0.1673	2.47892	100.00	0.2007	01-089-1397; 01-075-0576
37.9600	26.70	0.2676	2.37038	0.86	0.3212	
38.9741	53.33	0.2007	2.31101	1.72	0.2409	
39.9280	25.97	0.1004	2.25797	0.84	0.1204	
40.8644	36.57	0.0816	2.20653	1.18	0.0979	
40.9804	14.26	0.0612	2.20602	0.46	0.0734	
41.0959	45.75	0.0612	2.19464	1.48	0.0734	
41.2232	20.25	0.0612	2.19359	0.65	0.0734	
41.4239	21.89	0.0612	2.17802	0.71	0.0734	
41.6531	5.44	0.2040	2.16656	0.18	0.2448	
42.2781	9.28	0.1224	2.13597	0.30	0.1469	
42.7125	14.07	0.0816	2.11524	0.45	0.0979	
43.1980	9.96	0.0816	2.09259	0.32	0.0979	
43.4836	10.40	0.1224	2.07950	0.34	0.1469	
43.8034	4.79	0.1632	2.06506	0.15	0.1958	
44.3114	15.60	0.1224	2.04256	0.50	0.1469	
44.9338	13.46	0.0612	2.01570	0.43	0.0734	
45.0583	14.78	0.0612	2.01042	0.48	0.0734	
45.4398	14.66	0.0612	1.99442	0.47	0.0734	
45.7822	17.15	0.0612	1.98030	0.55	0.0734	
46.2911	2.27	0.1632	1.95971	0.07	0.1958	
46.8081	24.51	0.0816	1.93926	0.79	0.0979	
47.0047	27.83	0.0612	1.93160	0.90	0.0734	
47.4798	547.38	0.1020	1.91338	17.69	0.1224	01-089-1397
47.6437	552.74	0.1224	1.90718	17.87	0.1469	01-075-0576
48.3076	24.43	0.1020	1.88251	0.79	0.1224	
48.5580	18.56	0.1632	1.87338	0.60	0.1958	
49.7640	13.03	0.1224	1.83077	0.42	0.1469	
50.0874	21.71	0.0612	1.81971	0.70	0.0734	
50.2702	13.43	0.1224	1.81352	0.43	0.1469	
50.9892	32.31	0.0612	1.78962	1.04	0.0734	
51.1236	27.04	0.0612	1.78523	0.87	0.0734	
51.2480	43.78	0.0612	1.78119	1.41	0.0734	
51.7990	23.96	0.0612	1.76353	0.77	0.0734	
52.1415	15.68	0.0612	1.75275	0.51	0.0734	

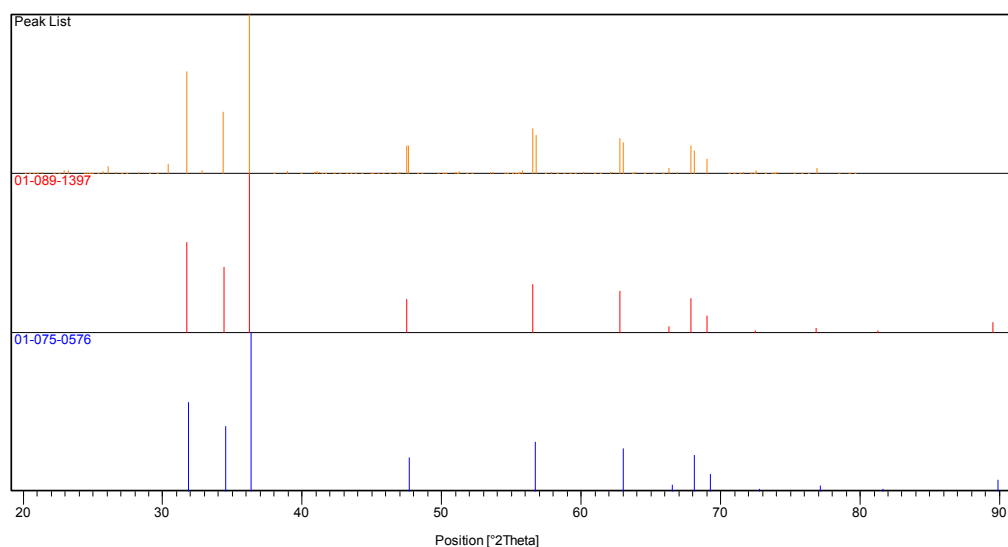
53.5011	27.46	0.0816	1.71137	0.89	0.0979	
53.7061	37.28	0.1632	1.70532	1.21	0.1958	
54.5063	18.48	0.0612	1.68216	0.60	0.0734	
54.6837	16.83	0.0816	1.67712	0.54	0.0979	
55.0736	12.80	0.1632	1.66617	0.41	0.1958	
55.2989	27.07	0.0612	1.65991	0.88	0.0734	
55.5029	23.88	0.0612	1.65429	0.77	0.0734	
55.6320	31.32	0.1224	1.65076	1.01	0.1469	
55.8306	60.59	0.0816	1.64536	1.96	0.0979	
56.5427	878.49	0.1224	1.62631	28.40	0.1469	01-089-1397
56.7466	751.46	0.1428	1.62095	24.29	0.1714	01-075-0576
57.4446	17.66	0.1224	1.60290	0.57	0.1469	
57.8503	29.91	0.0816	1.59262	0.97	0.0979	
58.3065	5.04	0.1224	1.58124	0.16	0.1469	
58.7707	7.00	0.0816	1.56986	0.23	0.0979	
59.1938	9.31	0.0816	1.55964	0.30	0.0979	
59.5891	1.97	0.1224	1.55024	0.06	0.1469	
60.1460	28.86	0.0612	1.53721	0.93	0.0734	
60.3513	6.96	0.1224	1.53628	0.23	0.1469	
60.9657	17.07	0.0816	1.51849	0.55	0.0979	
61.3971	12.60	0.1224	1.50885	0.41	0.1469	
62.0937	29.06	0.1224	1.49358	0.94	0.1469	
62.2897	40.99	0.0612	1.49305	1.32	0.0734	
62.8034	690.94	0.1632	1.47840	22.33	0.1958	01-089-1397
63.0006	611.16	0.1632	1.47425	19.75	0.1958	01-075-0576
63.6829	18.36	0.0816	1.46009	0.59	0.0979	
63.8693	37.83	0.0408	1.45628	1.22	0.0490	
64.5614	19.84	0.0612	1.44233	0.64	0.0734	
65.2011	7.05	0.4896	1.42971	0.23	0.5875	
65.8451	18.30	0.0612	1.41728	0.59	0.0734	
66.3124	110.33	0.1632	1.40842	3.57	0.1958	01-089-1397
66.8802	28.73	0.0612	1.39784	0.93	0.0734	
67.8830	552.42	0.0816	1.37961	17.86	0.0979	01-089-1397
68.1238	458.25	0.2040	1.37532	14.81	0.2448	01-075-0576
69.0371	286.58	0.2040	1.35934	9.26	0.2448	01-089-1397
70.6219	0.02	0.0816	1.33267	0.00	0.0979	
70.9899	20.45	0.0612	1.32666	0.66	0.0734	
71.4140	15.42	0.1224	1.31982	0.50	0.1469	
71.6311	40.46	0.0816	1.31635	1.31	0.0979	
72.1661	24.09	0.0612	1.30790	0.78	0.0734	
72.3949	26.04	0.1224	1.30433	0.84	0.1469	01-089-

						1397
72.5649	71.74	0.0612	1.30169	2.32	0.0734	01-089-1397
73.2354	20.86	0.0612	1.29142	0.67	0.0734	
73.6841	15.18	0.0816	1.28466	0.49	0.0979	
73.8932	8.05	0.1224	1.28154	0.26	0.1469	
74.0836	28.76	0.0612	1.27872	0.93	0.0734	
75.2895	7.39	0.1632	1.26121	0.24	0.1958	
75.8318	6.13	0.1224	1.25353	0.20	0.1469	
76.2902	2.52	0.3264	1.24713	0.08	0.3917	
76.9035	113.90	0.1224	1.23871	3.68	0.1469	01-089-1397
78.4634	14.76	0.0612	1.21795	0.48	0.0734	
79.2010	13.46	0.1224	1.20844	0.44	0.1469	
79.6545	6.81	0.1224	1.20270	0.22	0.1469	

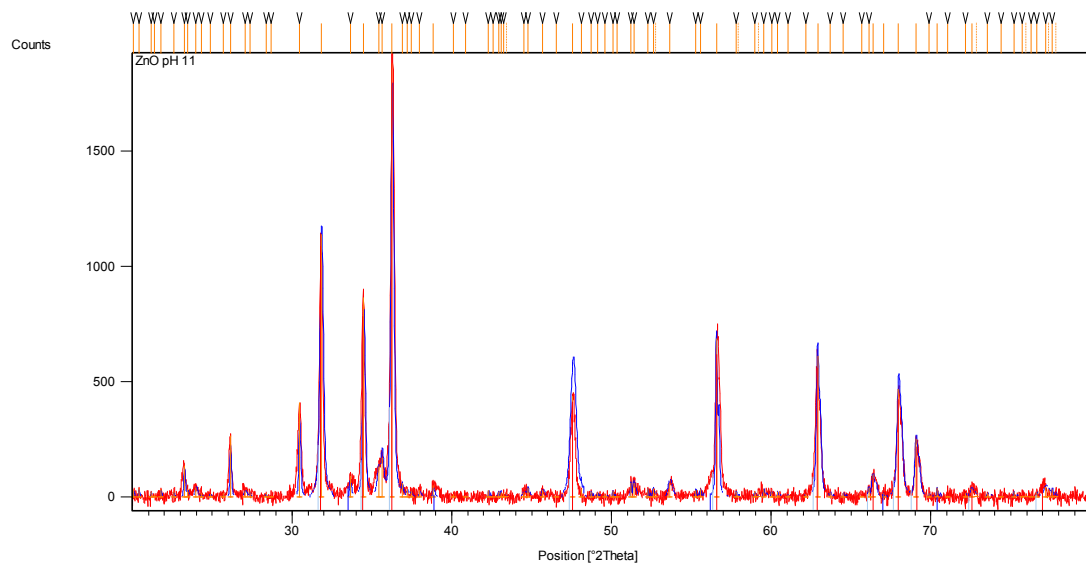
Identified Patterns List:

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	01-089-1397	51	Zinc Oxide	0.000	1.020	Zn O
*	01-075-0576	29	Zinc Oxide	0.000	0.639	Zn O

Plot of Identified Phases:



➤ **Grafik difraktogram XRD ZnO dengan pH 11**



Peak List:

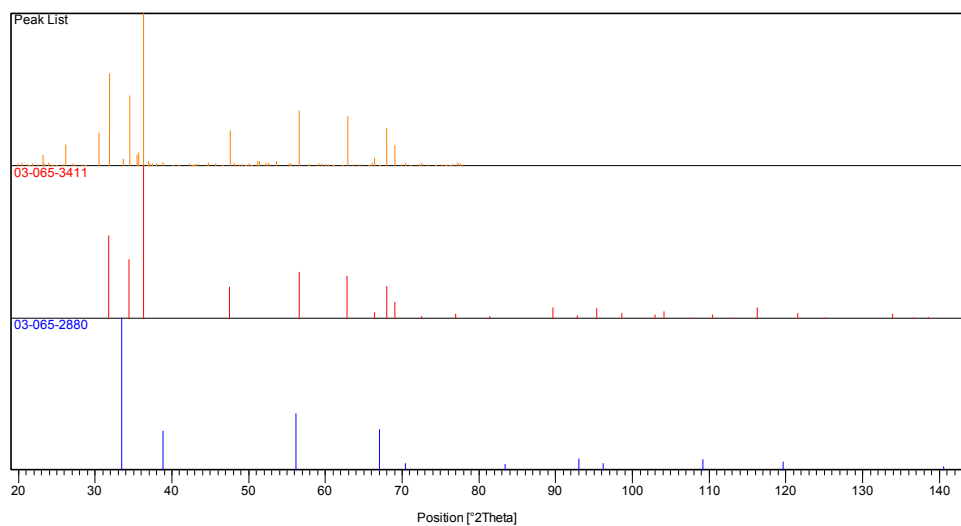
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]	Tip width [°2Th.]	Matched by
20.0834	32.10	0.0502	4.42139	1.71	0.0602	
20.4163	39.47	0.0502	4.35006	2.10	0.0602	
21.1823	25.86	0.0502	4.19445	1.38	0.0602	
21.3665	9.16	0.1004	4.15871	0.49	0.1204	
21.8070	33.51	0.0502	4.07568	1.78	0.0602	
22.5963	23.93	0.0502	3.93507	1.27	0.0602	
23.2528	137.46	0.1004	3.82543	7.31	0.1204	
23.4706	33.59	0.0669	3.79043	1.79	0.0803	
23.9914	41.74	0.2007	3.70930	2.22	0.2409	
24.3239	16.09	0.0669	3.65935	0.86	0.0803	
24.8637	15.27	0.1004	3.58112	0.81	0.1204	
25.7048	18.37	0.0502	3.46582	0.98	0.0602	
26.1364	266.68	0.0836	3.40955	14.19	0.1004	
27.0539	28.71	0.2007	3.29598	1.53	0.2409	
27.3494	20.89	0.0669	3.26103	1.11	0.0803	
28.3591	17.68	0.0502	3.14718	0.94	0.0602	
28.6970	4.79	0.1004	3.11088	0.26	0.1204	
30.4640	411.86	0.1004	2.93435	21.91	0.1204	
31.8224	1138.79	0.2342	2.81213	60.58	0.2810	03-065-3411
33.6389	91.27	0.1004	2.66431	4.86	0.1204	
34.4862	863.97	0.1673	2.60077	45.96	0.2007	03-065-3411
35.4220	133.74	0.2676	2.53417	7.11	0.3212	
35.6385	170.42	0.1338	2.51928	9.07	0.1606	

36.2538	1879.74	0.1840	2.47792	100.00	0.2208	03-065-3411
36.9028	60.59	0.0669	2.43582	3.22	0.0803	
37.1970	33.38	0.1673	2.41723	1.78	0.2007	
37.4530	27.92	0.1004	2.40129	1.49	0.1204	
37.9739	31.21	0.1004	2.36954	1.66	0.1204	
38.8359	52.66	0.1004	2.31891	2.80	0.1204	03-065-2880
40.1151	12.59	0.2007	2.24787	0.67	0.2409	
40.8451	3.73	0.1004	2.20936	0.20	0.1204	
42.3004	29.60	0.0612	2.13489	1.57	0.0734	
42.6019	3.83	0.1004	2.12224	0.20	0.1204	
42.9288	24.95	0.0612	2.10509	1.33	0.0734	
43.0794	20.84	0.0816	2.09807	1.11	0.0979	
43.2627	16.67	0.1224	2.08961	0.89	0.1469	
43.4506	18.37	0.0816	2.08617	0.98	0.0979	
44.4965	19.33	0.2448	2.03449	1.03	0.2938	
44.7599	41.19	0.0816	2.02313	2.19	0.0979	
45.6835	32.27	0.1632	1.98435	1.72	0.1958	
46.5206	4.22	0.1632	1.95057	0.22	0.1958	
47.5754	437.40	0.3672	1.90976	23.27	0.4406	03-065-3411
48.0979	36.95	0.0612	1.89022	1.97	0.0734	
48.7258	24.27	0.0612	1.86732	1.29	0.0734	
49.1271	21.61	0.0612	1.85301	1.15	0.0734	
49.5885	15.34	0.0612	1.83684	0.82	0.0734	
50.0847	26.67	0.0612	1.81980	1.42	0.0734	
50.3628	5.55	0.0816	1.81040	0.30	0.0979	
51.2097	61.34	0.0612	1.78243	3.26	0.0734	
51.4065	63.19	0.1224	1.77607	3.36	0.1469	
52.2810	38.94	0.0408	1.74840	2.07	0.0490	
52.6160	39.03	0.1020	1.73805	2.08	0.1224	
52.7960	24.85	0.0612	1.73685	1.32	0.0734	
53.6385	62.70	0.2448	1.70731	3.34	0.2938	
55.2822	32.10	0.0816	1.66037	1.71	0.0979	
55.5688	34.05	0.0816	1.65249	1.81	0.0979	
56.5757	687.19	0.1224	1.62544	36.56	0.1469	03-065-3411
57.8108	25.36	0.0612	1.59362	1.35	0.0734	
57.9371	6.21	0.0612	1.59440	0.33	0.0734	
58.9686	22.97	0.1020	1.56506	1.22	0.1224	
59.2067	26.33	0.0612	1.56321	1.40	0.0734	
59.5484	35.71	0.1020	1.55120	1.90	0.1224	
60.0357	25.65	0.1224	1.53977	1.36	0.1469	
60.3889	23.41	0.0612	1.53160	1.25	0.0734	
61.0259	9.66	0.0612	1.51713	0.51	0.0734	
62.1587	13.48	0.1632	1.49218	0.72	0.1958	
62.9088	612.62	0.1836	1.47618	32.59	0.2203	03-065-3411

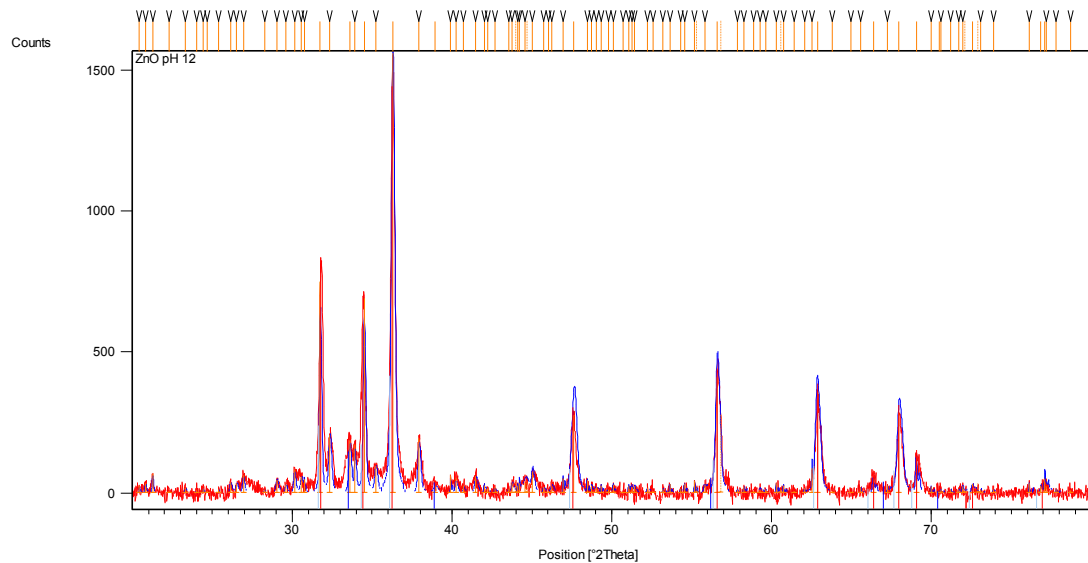
63.6995	21.95	0.0612	1.45975	1.17	0.0734	
64.5170	18.32	0.0816	1.44321	0.97	0.0979	
65.6605	8.37	0.2448	1.42082	0.45	0.2938	
66.1046	41.07	0.0816	1.41234	2.19	0.0979	
66.3872	100.47	0.1632	1.40702	5.34	0.1958	03-065-3411
67.0145	15.99	0.0612	1.39536	0.85	0.0734	03-065-2880
67.9734	469.81	0.2448	1.37799	24.99	0.2938	03-065-3411
69.0783	253.12	0.2040	1.35862	13.47	0.2448	03-065-3411
69.8837	17.44	0.0612	1.34492	0.93	0.0734	
70.3800	40.77	0.0612	1.33665	2.17	0.0734	03-065-2880
71.0251	7.44	0.1224	1.32609	0.40	0.1469	
72.1834	17.27	0.0408	1.30763	0.92	0.0490	
72.5496	38.49	0.2040	1.30193	2.05	0.2448	03-065-3411
72.8744	24.37	0.0816	1.30015	1.30	0.0979	
73.5358	18.46	0.1224	1.28689	0.98	0.1469	
74.3804	3.21	0.1224	1.27435	0.17	0.1469	
75.1822	22.58	0.0612	1.26274	1.20	0.0734	
75.7236	5.38	0.2448	1.25505	0.29	0.2938	
75.9632	14.76	0.0612	1.25480	0.79	0.0734	
76.2500	2.86	0.1632	1.24769	0.15	0.1958	
76.6460	19.35	0.1020	1.24223	1.03	0.1224	
77.1690	45.05	0.2856	1.23511	2.40	0.3427	
77.3890	35.07	0.0612	1.23521	1.87	0.0734	
77.6047	35.27	0.0816	1.22926	1.88	0.0979	
77.8428	0.99	0.0408	1.22914	0.05	0.0490	

Identified Patterns List:

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	03-065-3411	50	Zinc Oxide	0.000	1.040	Zn O
*	03-065-2880	16	Zinc Oxide	0.000	0.025	Zn O

Plot of Identified Phases:

➤ **Grafik difraktogram XRD ZnO dengan pH 12**



Peak List:

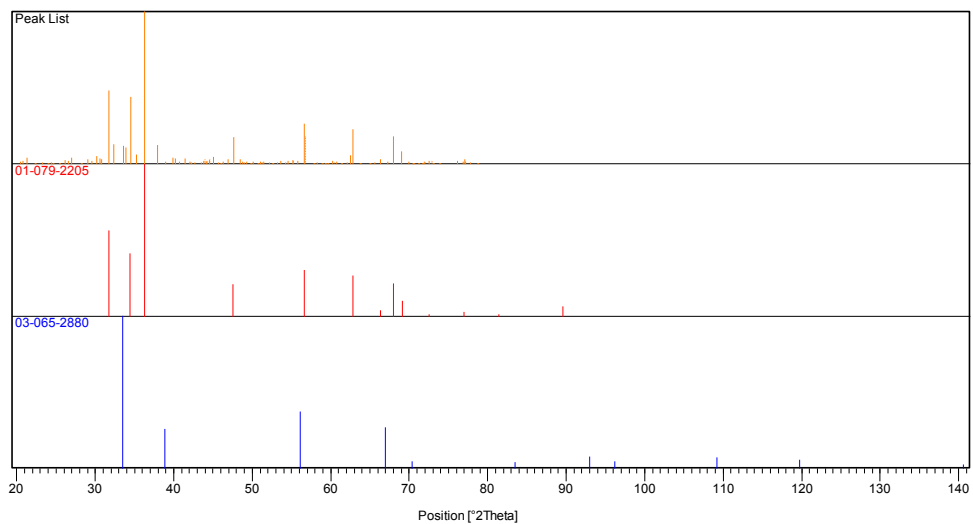
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]	Tip width [°2Th.]	Matched by
20.4349	27.22	0.0669	4.34613	1.75	0.0803	
20.8198	34.72	0.1004	4.26665	2.23	0.1204	
21.2659	68.04	0.0836	4.17815	4.36	0.1004	
22.3182	6.76	0.2007	3.98347	0.43	0.2409	
23.3050	18.52	0.1004	3.81699	1.19	0.1204	
24.0176	9.49	0.1004	3.70532	0.61	0.1204	
24.4309	15.88	0.0502	3.64357	1.02	0.0602	
24.6525	6.22	0.1338	3.61132	0.40	0.1606	
25.4126	11.53	0.0502	3.50500	0.74	0.0602	
26.1393	38.97	0.1338	3.40918	2.50	0.1606	
26.5186	34.18	0.1673	3.36127	2.19	0.2007	
26.9403	62.18	0.1338	3.30961	3.99	0.1606	
28.2675	11.14	0.0669	3.15717	0.71	0.0803	
29.0386	47.40	0.2007	3.07506	3.04	0.2409	
29.5960	30.22	0.1338	3.01840	1.94	0.1606	
30.1389	81.21	0.1338	2.96526	5.21	0.1606	
30.5844	56.27	0.2007	2.92307	3.61	0.2409	
30.7681	47.69	0.0502	2.90605	3.06	0.0602	
31.7506	749.98	0.1171	2.81832	48.08	0.1405	01-079-2205
32.3497	204.48	0.2007	2.76749	13.11	0.2409	
33.6053	185.64	0.1673	2.66690	11.90	0.2007	03-065-2880
33.9329	171.25	0.1004	2.64190	10.98	0.1204	
34.5041	690.19	0.1506	2.59946	44.25	0.1807	01-079-

						2205
35.2287	97.49	0.2007	2.54764	6.25	0.2409	
36.2830	1559.78	0.2342	2.47599	100.00	0.2810	01-079-2205
37.9263	195.97	0.1673	2.37240	12.56	0.2007	
38.9197	24.22	0.3346	2.31411	1.55	0.4015	03-065-2880
39.9139	63.45	0.0502	2.25874	4.07	0.0602	
40.2475	54.95	0.1338	2.24078	3.52	0.1606	
40.7308	25.96	0.1004	2.21530	1.66	0.1204	
41.4817	59.34	0.2007	2.17692	3.80	0.2409	
42.0119	27.69	0.0816	2.14888	1.78	0.0979	
42.2300	16.81	0.0836	2.14006	1.08	0.1004	
42.6696	19.56	0.1004	2.11903	1.25	0.1204	
43.5330	15.37	0.1004	2.07898	0.99	0.1204	
43.7765	34.89	0.1224	2.06627	2.24	0.1469	
43.9981	44.55	0.0612	2.06148	2.86	0.0734	
44.1095	26.07	0.0408	2.05144	1.67	0.0490	
44.2226	33.81	0.0612	2.04645	2.17	0.0734	
44.5791	38.35	0.4080	2.03091	2.46	0.4896	
44.6940	39.16	0.1224	2.03099	2.51	0.1469	
45.0281	73.89	0.1632	2.01170	4.74	0.1958	
45.7219	19.60	0.1224	1.98277	1.26	0.1469	
46.0211	6.96	0.1224	1.97058	0.45	0.1469	
46.2472	24.94	0.1632	1.96147	1.60	0.1958	
46.9516	51.94	0.0408	1.93367	3.33	0.0490	
47.6175	277.34	0.3264	1.90817	17.78	0.3917	01-079-2205
48.4455	47.08	0.0612	1.87747	3.02	0.0734	
48.7408	25.34	0.0816	1.86678	1.62	0.0979	
49.0051	21.32	0.1632	1.85734	1.37	0.1958	
49.3371	25.78	0.0612	1.84561	1.65	0.0734	
49.7850	11.93	0.2448	1.83005	0.77	0.2938	
50.0790	27.86	0.0816	1.81999	1.79	0.0979	
50.7096	2.53	0.0816	1.79883	0.16	0.0979	
51.0499	26.66	0.0816	1.78763	1.71	0.0979	
51.2400	19.88	0.1224	1.78145	1.27	0.1469	
51.4259	22.63	0.0816	1.77544	1.45	0.0979	
52.2167	17.38	0.1224	1.75040	1.11	0.1469	
52.5716	6.25	0.2448	1.73942	0.40	0.2938	
53.2106	14.87	0.1020	1.72002	0.95	0.1224	
53.6225	32.73	0.0612	1.70778	2.10	0.0734	
54.2985	14.07	0.0612	1.68810	0.90	0.0734	
54.5328	32.77	0.0612	1.68140	2.10	0.0734	
55.1711	42.06	0.0612	1.66345	2.70	0.0734	
55.3173	22.99	0.0612	1.66352	1.47	0.0734	
55.8100	29.95	0.1632	1.64591	1.92	0.1958	
56.5974	411.50	0.2448	1.62487	26.38	0.2938	01-079-2205

56.8221	276.47	0.1224	1.62300	17.73	0.1469	
57.8455	12.58	0.0612	1.59274	0.81	0.0734	
58.2824	21.20	0.0816	1.58184	1.36	0.0979	
58.8591	7.54	0.4896	1.56771	0.48	0.5875	
59.2618	12.91	0.1224	1.55801	0.83	0.1469	
59.6085	11.57	0.1224	1.54978	0.74	0.1469	
60.2757	34.81	0.0612	1.53421	2.23	0.0734	
60.5711	10.89	0.0816	1.53123	0.70	0.0979	
60.7263	27.67	0.0612	1.52390	1.77	0.0734	
61.4101	7.28	0.2448	1.50856	0.47	0.2938	
62.0581	16.88	0.0612	1.49436	1.08	0.0734	
62.5467	87.40	0.0612	1.48385	5.60	0.0734	
62.8569	356.39	0.2448	1.47727	22.85	0.2938	01-079-2205
63.8008	6.30	0.2448	1.45767	0.40	0.2938	
64.9533	3.53	0.1224	1.43457	0.23	0.1469	
65.5885	20.64	0.0612	1.42220	1.32	0.0734	
66.3575	52.73	0.1224	1.40757	3.38	0.1469	01-079-2205
67.2451	25.79	0.0612	1.39114	1.65	0.0734	
67.9727	283.10	0.2856	1.37801	18.15	0.3427	01-079-2205
69.0566	129.96	0.1224	1.35900	8.33	0.1469	01-079-2205
69.9581	22.75	0.0612	1.34368	1.46	0.0734	
70.4680	1.56	0.1632	1.33520	0.10	0.1958	03-065-2880
70.5700	11.95	0.0408	1.33352	0.77	0.0490	
71.2194	11.69	0.0612	1.32295	0.75	0.0734	
71.7238	12.77	0.0816	1.31488	0.82	0.0979	
71.9599	22.56	0.1224	1.31114	1.45	0.1469	
72.1334	11.72	0.0612	1.31167	0.75	0.0734	
72.5763	32.96	0.1632	1.30152	2.11	0.1958	01-079-2205
72.9172	33.33	0.0612	1.29949	2.14	0.0734	
73.0982	13.24	0.0816	1.29351	0.85	0.0979	
73.8779	12.30	0.1224	1.28177	0.79	0.1469	
76.1227	35.68	0.0408	1.24946	2.29	0.0490	
76.8518	27.28	0.1224	1.23942	1.75	0.1469	01-079-2205
77.0938	52.17	0.0612	1.23613	3.34	0.0734	01-079-2205
77.1929	24.38	0.2448	1.23479	1.56	0.2938	
77.7935	14.00	0.0612	1.22675	0.90	0.0734	
78.6869	8.51	0.1632	1.21504	0.55	0.1958	

Identified Patterns List:

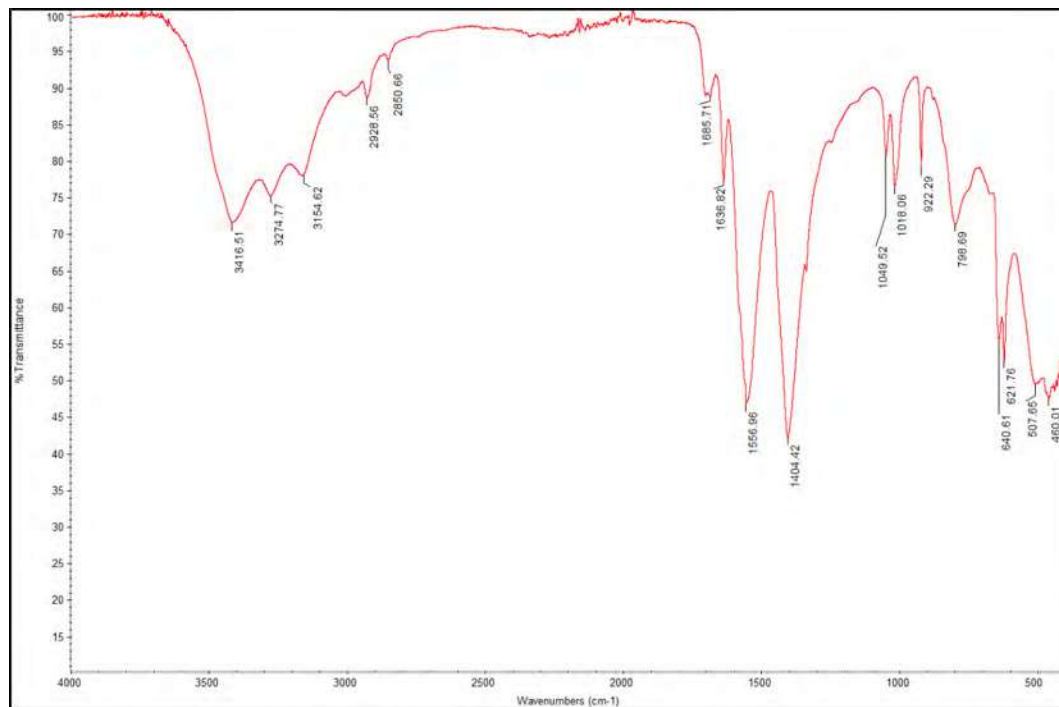
Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	01-079-2205	50	Zinc Oxide	0.000	0.919	Zn O
*	03-065-2880	20	Zinc Oxide	0.000	0.093	Zn O

Plot of Identified Phases:

Lampiran 5

Hasil Spektrum Spektrofotometer FTIR

➤ Spektrum spektrofotometer FTIR *xerogel*



Collection time: Tue Apr 12 08:29:50 2016 (GMT+0)

Tue Apr 12 08:34:17 2016 (GMT+07:00)

FIND PEAKS:

Spectrum: (ZnOH)₂
 Region: 4000.00 400.00
 Absolute threshold: 96.879
 Sensitivity: 50

Peak list:

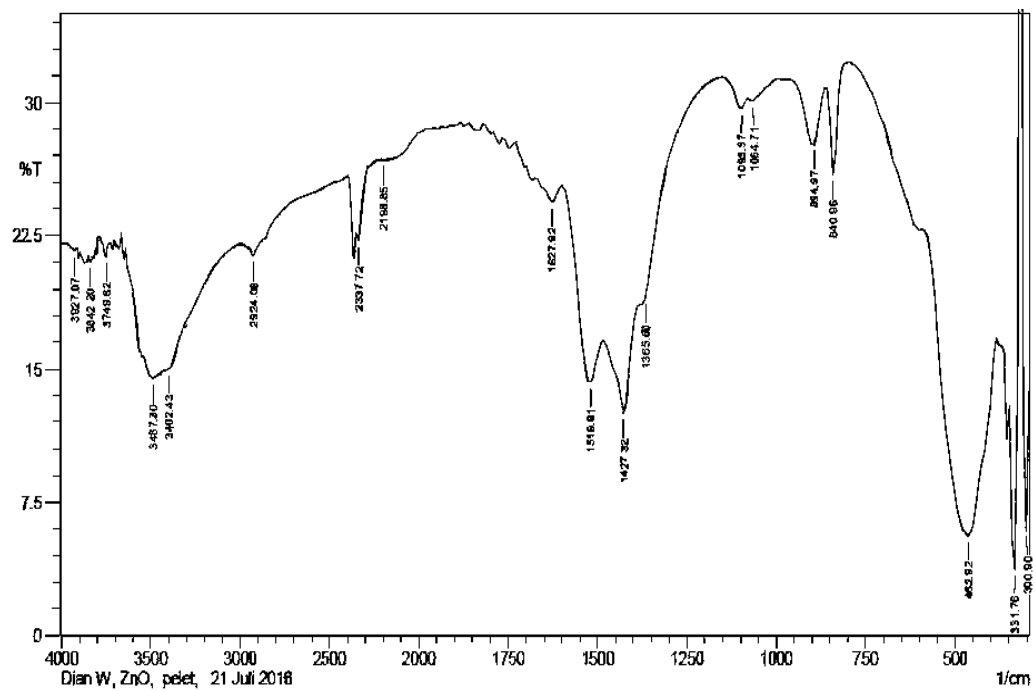
Position	Intensity
460.01	47.451
621.76	52.876
640.61	55.324
798.69	71.288
922.29	73.965
1018.06	76.444
1049.52	80.772
1404.42	42.139
1566.96	48.712
1636.82	77.217
1685.71	88.765
2928.56	88.535
3274.77	75.181
3416.51	71.530

Spectrum: (ZnOH)₂
 Region: 3495.26-455.13
 Search type: Correlation

Hit List:

Index	Match	Compound name	Library
1118	51.61	Acetic acid, sodium salt	HR Hummel Polymer and Additives
3360	43.91	Tetraethylammonium acetate tetrahydrate 99%	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
3328	42.59	Thallium(III) acetate	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
1762	38.56	Ammonium bromide	HR Hummel Polymer and Additives
3335	37.94	Cadmium acetate hydrate, 99.99+%	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
3321	35.62	Cesium acetate, tech., 95+%	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
17766	34.24	Poly(acrylic acid), sodium salt-graft- p oly(ethylene oxide), cross-linked	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
1763	33.51	Ammonium iodide	HR Hummel Polymer and Additives
2952	33.15	Peracetic acid, 32 wt. % solution in dilute acetic acid	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
3334	32.17	Zinc acetate dihydrate, 98+%	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II

➤ Spektrum spektrofotometer FTIR padatan hasil kalsinasi



	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	300.9	5.899	30.128	316.33	293.18	23.224	9.184
2	331.76	3.709	10.901	362.62	324.04	41.517	9.665
3	462.92	5.602	13.44	586.36	385.76	195.662	52.761
4	840.96	25.926	5.241	856.39	802.39	28.446	1.432
5	894.97	27.622	3.284	964.41	864.11	53.158	2.12
6	1064.71	30.038	0.373	1080.14	995.27	43.536	0.138
7	1095.57	29.664	0.81	1149.57	1080.14	35.91	0.339
8	1365.6	18.586	0.456	1373.32	1157.29	121.264	0
9	1427.32	12.532	5.156	1481.33	1388.75	75.958	6.063
10	1519.91	14.249	4.707	1597.06	1489.05	80.933	5.736
11	1627.92	24.383	0.982	1666.5	1604.77	37.304	0.563
12	2198.85	26.724	0.116	2214.28	1982.82	130.487	1.105
13	2337.72	22.201	0.968	2353.16	2229.71	73.857	0.291
14	2924.09	21.319	1.102	2985.81	2399.45	363.48	1.494
15	3402.43	15.008	0.134	3410.15	3001.24	293.601	0.154
16	3487.3	14.443	2.806	3641.6	3410.15	183.593	10.928
17	3749.62	21.293	0.866	3788.19	3734.19	35.689	0.403
18	3842.2	20.998	0.475	3849.92	3795.91	36.117	0.499
19	3927.07	21.762	0.033	3988.79	3919.35	45.856	0.069

Lampiran 6

Powder Diffraction File (PDF) Database

➤ Data PDF Zn(OH)₂ no. 74-0094

74-0094					Wavelength = 1.54060					C				
Zn(OH) ₂					d(Å)	Int	h	k	l	d(Å)	Int	h	k	l
Zinc Hydroxide					4.4236	529	1	1	0	1.9735	117	1	4	0
					4.2705	100	0	2	0	1.9735		1	2	2
					4.2705		0	1	1	1.9605	11	0	4	1
					3.5678	796	1	0	1	1.9144	62	2	3	0
					3.2925	999*	1	2	0	1.8641	62	0	3	2
					3.2925		1	1	1	1.8331	233	1	4	1
Rad.: CuKα1 λ: 1.54060 Filter: d sp: Calculated					3.2291	639	0	2	1	1.7045	80	2	3	1
Cut off: 17.7 Int.: Calculated 1/leor.: 1.84					2.7308	246	1	2	1	1.7845		2	0	2
Ref: Calculated from ICSD using POWD-12++, (1997)					2.5850	53	2	0	0	1.7536	59	1	3	2
Ref: von Schnering, H.G., Z. Anorg. Allg. Chem., 330, 170 (1964)					2.4952	18	1	3	0	1.7483	81	2	1	2
					2.4743	369	2	1	0	1.6893	71	3	1	0
Sys.: Orthorhombic S.G.: P2 ₁ 2 ₁ 2 ₁ (19)					2.4667	296	0	3	1	1.6462	164	2	4	0
a: 5.17 b: 6.547 c: 4.93 A: 0.6049 C: 0.5768					2.4667		0	0	2	1.6482		2	2	2
α: β: γ: Z: 4 mp:					2.3664	319	0	1	2	1.6268	22	3	0	1
Ref: Ibid.					2.2693	4	2	0	1	1.6229	29	1	5	0
					2.2263	327	1	3	1	1.6145	69	0	4	2
					2.2263		1	0	2	1.6145	69	0	1	3
Dx: 3.031 Dm: 3.030 ICSD #: 025509					2.2114	137	2	2	0	1.5981	104	3	2	0
					2.2114		2	1	1	1.5981		3	1	1
Peak height intensity, R-factor: 0.061, PSC: oP20, Mwt: 99.39, Volume[CB]: 217.85.					2.1532	69	1	1	2	1.5661	9	1	0	3
					2.1367	120	0	4	0	1.5620	41	2	4	1
					2.1367		0	2	2	1.5404	96	1	4	2
					2.0100	36	2	2	1	1.5404	96	1	1	3

d(Å)	Int	h	k	l	d(Å)	Int	h	k	l
1.5203	43	3	2	1	1.1547	12	1	2	4
1.5119	29	2	3	2	1.1457	42	3	2	3
1.4745	10	3	3	0	1.1345	15	4	1	2
1.4704	68	1	2	3	1.1311	18	0	3	4
1.4250	53	2	5	0	1.1131	22	2	6	2
1.4235	40	0	3	3	1.1131		2	0	4
1.4127	70	3	3	1	1.1069	20	4	4	0
1.4127		3	0	2	1.1069		4	2	2
1.4046	6	0	5	2	1.1032	15	2	1	4
1.3934	10	3	1	2	1.0975	5	3	6	0
1.3868	27	2	0	3	1.0975		3	3	3
1.3724	70	1	6	0	1.0941	9	0	7	2
1.3724		1	3	3					
1.3697	112	2	5	1					
1.3697		112	0	6	1				
1.3555	25	1	5	2					
1.3410	5	3	4	0					
1.3410		3	2	2					
1.3229	3	1	6	1					
1.3191	2	2	2	3					
1.3026	2	0	4	3					
1.2943	9	3	4	1					
1.2925	20	4	0	0					
1.2779	4	4	1	0					
1.2654	16	3	3	2					
1.2631	9	1	4	3					
1.2502	1	4	0	1					
1.2469	3	2	6	0					
1.2469		2	3	3					
1.2370	5	4	2	0					
1.2370		4	1	1					
1.2342	12	2	5	2					
1.2342		0	6	2					
1.2325	6	0	0	4					
1.2196	8	0	1	4					
1.2136	9	3	5	0					
1.2094	5	2	6	1					
1.1999	29	4	2	1					
1.1999		1	6	2					
1.1872	15	1	1	4					
1.1846	15	0	5	3					
1.1846		15	0	2	4				
1.1784	32	3	5	1					
1.1764	32	3	4	2					
1.1632	31	2	4	3					
1.1547	12	1	5	3					



© 2000 ICDD—International Centre for Diffraction Data. All rights reserved.
PCPDFWIN v. 2.1

➤ Data PDF ZnO no. 80-0075

80-0075		Wavelength= 1.54060					C
ZnO	d(Å)	Int	h	k	l		
Zinc Oxide	2.8179	578	1	0	0		
	2.6049	442	0	0	2		
	2.4786	999*	1	0	1		
	1.9128	229	1	0	2		
	1.6269	324	1	1	0		
Rad.: CuKα1 λ: 1.54060 Filter:	d-sp: Calculated	1.4784	276	1	0	3	
Cut off: 17.7 Int.: Calculated I/ICor.: 5.43		1.4089	44	2	0	0	
Ref: Calculated from ICSD using POWD-12++, (1997)		1.3799	243	1	1	2	
Ref: Garcia-Martinez, O et al., Solid State Ionics, 63, 442 (1993)		1.3601	114	2	0	1	
		1.3024	19	0	0	4	
Sys.: Hexagonal	S.G.: P6 ₃ mc (186)	1.2393	38	2	0	2	
a: 3.2539(1) b:	c: 5.2098(3) A:	1.1822	19	1	0	4	
α:	β:	γ:	Z: 2	mp:	1.0941	74	2 0 3
Ref: Ibid.							
Dx: 5.658	Dm:	ICSD # : 067849					
Peak height intensity. R-factor: 0.040. S Zn type. PSC: hP4.							
Mwt: 81.38. Volume[CD]: 47.77.							



© 2000 JCPDS-International Centre for Diffraction Data. All rights reserved
PCPDFWIN v. 2.1

➤ **Data standar JCPDS no. 0036-1451**

Date: 7/12/2016 Time: 3:49:38 PM User: Teknik Mat File: 00-036-1451

User: Teknik Material

Name and formula

Reference code: 00-036-1451

Mineral name: Zincite, syn
 Compound name: Zinc Oxide
 Common name: zinc white, chinese white

Empirical formula: OZn
 Chemical formula: ZnO

Crystallographic parameters

Crystal system: Hexagonal
 Space group: $P6_3mc$
 Space group number: 186

a (Å): 3.2498
 b (Å): 3.2498
 c (Å): 5.2066
 α (°): 90.0000
 β (°): 90.0000
 γ (°): 120.0000

Volume of cell (10^6 pm^3): 47.62
 Z : 2.00

RIR: -

Subfiles and quality

Subfiles: Alloy, metal or intermetallic
 Common Phase
 Educational pattern
 Forensic
 Inorganic
 Mineral
 NBS pattern
 Pharmaceutical
 Pigment/Dye

Quality: Star (S)

Comments

Color: Colorless
 Creation Date: 1/1/1970
 Modification Date: 1/11/2011
 Additional Patterns: To replace 00-005-0664 (5). See PDF 01-075-1526
 Color: Colorless

General Comments: The structure was determined by Bragg (1) and refined by Abrahams, Bernstein (2)
 Powder Data: References to other early patterns may be found in reference (5)
 Polymorphism/Phase Transition: A high pressure cubic NaCl-type of ZnO is reported by Bates et al. (3) and a cubic, sphalerite type is reported by Radczewski, Schicht (4)

Sample Source or Locality: The sample was obtained from the New Jersey Zinc Co., Bethlehem, Pennsylvania, USA
 Temperature of Data Collection: The approximate temperature of data collection was 299 K
 Unit Cell Data Source: Powder Diffraction.

References

Primary reference: McMurdie, H., Morris, M., Evans, E., Paretzkin, B., Wong-Ng, W., Ettlinger, L., Hubbard,

1 Of 2

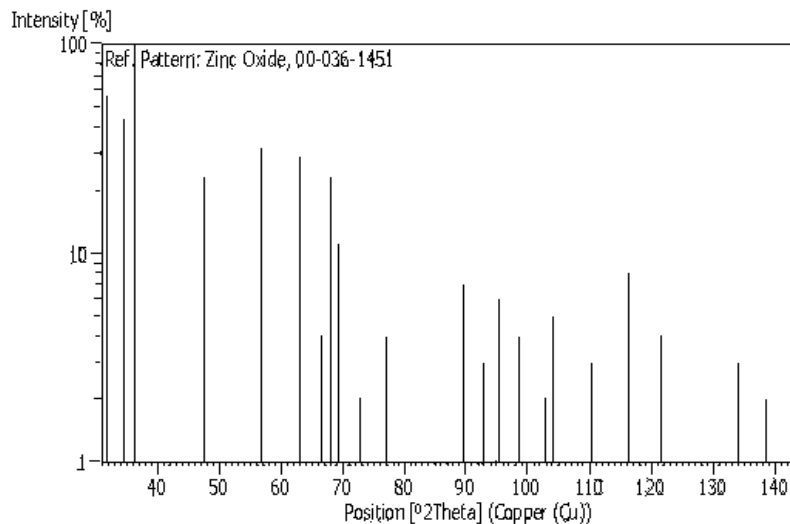
Date: 7/12/2016 Time: 3:49:38 PM User: Teknik Mat File: 00-036-1451

User: Teknik Material

Structure: C., *Powder Diff.*, **1**, 76, (1986)
 1, Bragg, W., *Philos. Mag.*, **39**, 647, (1920)
 Optical data: *Dana's System of Mineralogy*, 7th Ed., **1**, 504

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	0	0	2.81430	31.770	57.0
2	0	0	2	2.60330	34.422	44.0
3	1	0	1	2.47590	36.253	100.0
4	1	0	2	1.91110	47.540	23.0
5	1	1	0	1.62470	56.604	32.0
6	1	0	3	1.47710	62.865	29.0
7	2	0	0	1.40720	66.378	4.0
8	1	1	2	1.37820	67.962	23.0
9	2	0	1	1.35820	69.103	11.0
10	0	0	4	1.30170	72.565	2.0
11	2	0	2	1.23800	76.956	4.0
12	1	0	4	1.18160	81.372	1.0
13	2	0	3	1.09310	89.610	7.0
14	2	1	0	1.06380	92.788	3.0
15	2	1	1	1.04230	95.299	6.0
16	1	1	4	1.01600	98.606	4.0
17	2	1	2	0.98460	102.952	2.0
18	1	0	5	0.97660	104.139	5.0
19	2	0	4	0.95560	107.431	1.0
20	3	0	0	0.93810	110.396	3.0
21	2	1	3	0.90690	116.288	8.0
22	3	0	2	0.88260	121.562	4.0
23	0	0	6	0.86770	125.184	1.0
24	2	0	5	0.83700	133.943	3.0
25	1	0	6	0.82930	136.514	1.0
26	2	1	4	0.82370	138.511	2.0
27	2	2	0	0.81250	142.905	3.0

Stick Pattern

Lampiran 7
Penentuan Kinerja DSSC

➤ **Pengukuran arus terhadap hari**

Hari	Arus Isc (mA)		Lux
	ZnO	ZnO dengan Co(II)- <i>congo red</i>	
1	28	28	816
2	29	28	823
3	27	28	810
4	27	28	803
5	31	32	729
6	31	34	730
7	31	34	732
8	31	34	733
9	31	34	734
10	31	34	735
11	31	34	736
12	31	34	732
13	31	34	738
14	31	34	737

➤ Pengukuran voltase terhadap hari

Hari	Voltase (V)		Lux
	ZnO	ZnO dengan Co(II)-congo red	
1	0,396	0,4	816
2	0,398	0,418	817
3	0,36	0,412	810
4	0,362	0,4	813
5	0,308	0,24	734
6	0,192	0,22	732
7	0,196	0,22	733
8	0,194	0,22	729
9	0,198	0,22	730
10	0,198	0,22	735
11	0,2	0,22	736
12	0,198	0,22	732
13	0,2	0,22	738
14	0,2	0,22	737

➤ Pengukuran kurva I-V

Arus dan voltase yang dihasilkan oleh semikonduktor ZnO

Isc (mA)	Volt (V)	Jsc
16	0.2	4
16	0.2	4
16	0.18	4
16	0.16	4
14	0.16	3.5
12	0.12	3
12	0.14	3
12	0.22	3
12	0.14	3
12	0.12	3

pengukuran arus dan voltase yang dihasilkan oleh ZnO dengan Co(II)-*congo red*

Isc (mA)	Volt (V)	Jsc
10	0.2	2.5
12	0.16	3
12	0.18	3
14	0.16	3.5
14	0.14	3.5
14	0.2	3.5
16	0.22	4
16	0.18	4
16	0.16	4
16	0.18	4

Lampiran 8

Pengukuran Kurva I – V

➤ Perhitungan Efisiensi Semikonduktor ZnO

Lux	Impp	Vmpp	Isc	Voc	Jsc	FF	Pmax	Plux	Efisiensi
689	3,1	0,21	14	0,22	3,4	0,21136	0,16275	54,431	0,29

$$\begin{aligned}
 FF &= \frac{V_{mpp} \cdot I_{mpp}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \\
 &= \frac{0,21 \times 3,1}{0,22 \times 14} \\
 &= \frac{0,651}{3,08} \\
 &= 0,21136
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{max} &= V_{oc} \times J_{sc} \times FF \\
 &= 0,22 \times 3,4 \times 0,21136 \\
 &= 0,16275
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{lux} &= (\text{lux}) \times 0,00079 \times 100 \\
 &= 689 \times 0,00079 \times 100 \\
 &= 54,431
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \eta (\%) &= \frac{P_{max}}{P_{lux}} \times 100\% \\
 &= \frac{0,16275}{54,431} \times 100\% \\
 &= 0,29 \%
 \end{aligned}$$

➤ **Perhitungan Efisiensi Semikonduktor ZnO dengan Co(II)-congo red**

Lux	I _{mpp}	V _{mpp}	I _{sc}	V _{oc}	J _{sc}	FF	P _{max}	Plux	Efisiensi
589	3,5	0,16	16	0,16	4	0,21875	0,14	46,531	0,30

$$FF = \frac{V_{mpp} \cdot I_{mpp}}{V_{oc} \cdot I_{sc}}$$

$$= \frac{0,16 \times 3,5}{0,16 \times 16}$$

$$= \frac{0,56}{2,56}$$

$$= 0,21875$$

$$P_{max} = V_{oc} \times J_{sc} \times FF$$

$$= 0,16 \times 4 \times 0,21875$$

$$= 0,14$$

$$Plux = (lux) \times 0,00079 \times 100$$

$$= 589 \times 0,00079 \times 100$$

$$= 46,531$$

$$\eta (\%) = \frac{P_{max}}{Plux} \times 100\%$$

$$= \frac{0,14}{46,531} \times 100\%$$

$$= 0,30 \%$$